

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЗАНИЮ БОТВЫ РЕДИСА

АШИТКО Андрей Андреевич, Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет»

В статье описан проблемный уровень механизации малых хозяйств, особенно в период уборки урожая. При рассмотрении процесса уборки урожая корнеплодов, в том числе редиса, наиболее сложной операцией является отделение ботвы. В связи с этим автором был проведен ряд исследований по выявлению закономерностей процесса резания ботвы на примере редиса. Исследование проводилось с использованием разрабатываемой в Азово-Черноморском инженерном институте ФГБОУ ВО «Донской ГАУ» динамометрической установки, основой которой являлось маятниковое режущее приспособление, к элементам которого присоединялась контрольно-измерительная система, включающая в себя тензометрический датчик; элементы системы преобразования сигнала и персональный компьютер или ноутбук с программным продуктом ADCLabSE. Проведенный факторный эксперимент позволил установить, что такие параметры, как угол установки лезвия, его толщина и скорость резания существенно влияют на энергетические показатели процесса отделения ботвы редиса, причем влияние первого фактора – обратное, остальных – прямое.

Введение. Редис – корнеплод, играющий существенную роль в питании человека. Его плоды богаты витаминами А, В₁, В₂, В₆, РР, С (в 100 г содержится почти суточная норма), помимо витаминов в них содержатся сахара, белки; жиры, клетчатка, такие элементы, как калий, натрий, фтор, фосфор, хром, цинк и др. Благодаря такой совокупности биологически активных элементов он обладает тонизирующим действием, благотворно влияет на состояние здоровья человека, укрепляя иммунитет, благотворно влияя на ЖКТ, сердечно-сосудистую и нервную систему, снижая вероятность заболевания онкологическими заболеваниями, играя роль антисептика и антибактерицида. Особенно важно, что редис – практически первый овощ открытого грунта, попадающий ранней весной, что не только усиливает востребованность в ней, но и обеспечивает высокую рентабельность его производства в этот период [6].

В России почти половина всех столовых овощей, в том числе и редис, производятся в хозяйствах населения, где отмечается крайне низкий уровень механизации технологий, что в свою очередь приводит к существенному увеличению их трудоемкости, снижению производительности труда, недобору продукции, особенно в наиболее загруженные пиковые периоды, одним из которых является уборка урожая. В малых хозяйствах она, как правило, реализуется в два этапа: сначала корнеплоды извлекаются из земли, а все вырванные растения концентрируют в одном месте. На втором этапе ботва вручную отрезается (в отдельных случаях и корешок тоже), после чего корнеплоды моют и фасуют. В этом процессе наиболее трудоемкой является процедура отделения ботвы,

в связи с чем разработку и внедрение в производство малых ботвообрезочных можно считать актуальной задачей, решение которой позволит существенно повысить производительность труда при реализации этого процесса в малых хозяйствах, снизить нагрузку на работников.

В работе таких машин основным технологическим процессом является процесс перерезания стеблей, соответственно, количественная оценка его реализации позволит оптимизировать разработки в данной области, заложить в проектируемые машины наиболее рациональные параметры и режимы функционирования.

Цель исследования – выявление закономерностей процесса резания ботвы редиса.

Методика исследований. Исследование проводили с использованием разработанной в Азово-Черноморском инженерном институте ФГБОУ ВО Донской ГАУ динамометрической установки, основой которой являлось маятниковое режущее приспособление (рис. 1). Оно содержало основание 1, на котором была закреплена вертикальная стойка 2. К стойке 2 шарнирно (посредством подшипника 3) присоединялся рычаг 4, на свободном конце которого был закреплен дугообразный держатель 5 с концентрично изготовленными отверстиями. В отверстиях держателя 5 закреплялся фиксатор 6, к которому посредством тензодатчика (на рис. 1 не показан) присоединялось сменное лезвие 7. Кроме того, на основании 1 закреплялись фиксатор 8 корнеплодов и упор 9 с верхним эластичным покрытием, ограничивающий перемещение рычага 4 при его падении.

К элементам маятникового режущего приспособления присоединялась контрольно-измерительная



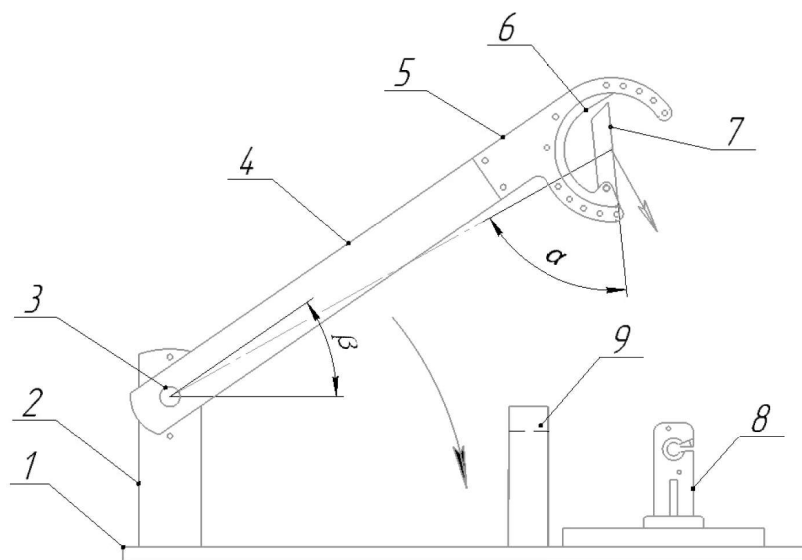


Рис. 1. Маятниковое режущее приспособление: 1 – основание; 2 – стойка; 3 – подшипник; 4 – рычаг; 5 – дугообразный держатель; 6 – зажим; 7 – сменное лезвие; 8 – фиксатор корнеплодов; 9 – упор

система (рис. 2), включающая в себя тензометрический датчик 2; элементы (4–7) системы преобразования сигнала и персональный компьютер или ноутбук 8 с программным продуктом ADCLabSE.

Динамометрическая установка работает следующим образом: растение редиса закрепляется в фиксаторе корнеплодов 8 (см. рис. 1) таким образом, чтобы место соединения ботвы с головкой корнеплода находилось примерно на траектории движения сменного лезвия 7. Затем рычаг 4 вручную устанавливается под заданным углом к горизонту, после чего отпускается. Под действием силы тяжести свободный конец рычага 4 с закрепленным на нем ножом сменным лезвием 7 движется вниз.

При взаимодействии режущей кромки сменного лезвия 9 (рис. 2) со стеблями ботвы тензометрический датчик 2 преобразует возникающую деформацию в электрический сигнал. Этот электрический сигнал через фильтр колебаний 4 поступает в плату сопряжения 5, где создается определенный канал с нужной для визуализации частотой опроса данного электрического сигнала. Далее через дополнительный усилитель 6 элек-

тронный сигнал попадает в аналогово-цифровой преобразователь 7, который преобразует аналоговый сигнал в цифровой (дискретный код), и уже в этом виде он поступает через шнур USB 3.0 в ноутбук 8. В ноутбуке с помощью программы ADCLabSE определяется величина силы резания. Перед каждым опытом тензометрический датчик тарируется с использованием шаблонного груза.

Предварительное измерение усредненного диаметра пучка стеблей ботвы в месте среза, выполненное с использованием электронного штангенциркуля, позволяло определить удельное значение силы резания ботвы корнеплодов ($\text{H}/\text{мм}^2$), которое было выбрано в качестве критерия оптимизации, наиболее полно характеризующего анализируемый процесс. Исследование проводилось с использованием методик реализации факторного эксперимента, при этом был выбран некомпозиционный план второго порядка для трех факторов, при котором каждый из них менялся на трех уровнях.

После проведения предварительных экспериментов, анализа литературных источников и производственного опыта в качестве варьируемых

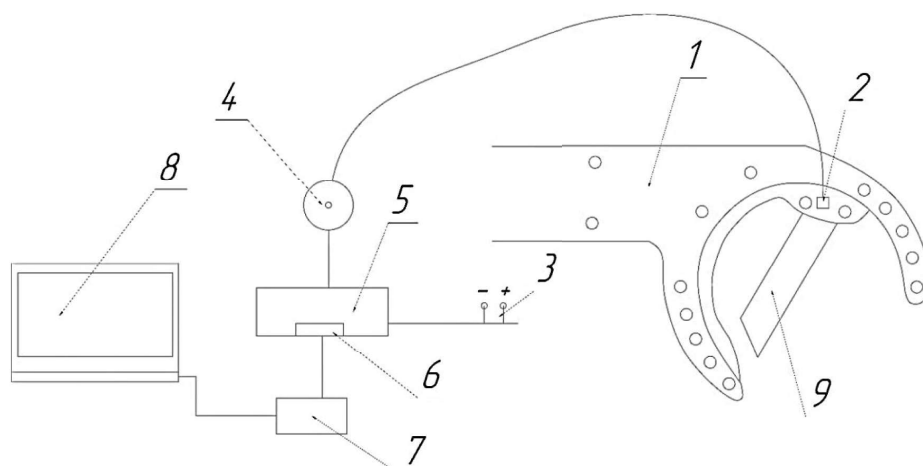


Рис. 2. Контрольно-измерительная система: 1 – дугообразный держатель; 2 – тензометрический датчик; 3 – источник питания; 4 – фильтр колебаний; 5 – плата сопряжения; 6 – усилитель электронного сигнала; 7 – аналогово-цифровой преобразователь; 8 – ноутбук (ПК); 9 – сменное лезвие





факторов были приняты (см. таблицу): угол установки лезвия (α , град) к оси, соединяющей ось вращения рычага с центральной частью режущей кромки лезвия (см. рис. 1), далее – угол установки лезвия; толщина режущей кромки лезвия (t , мм) (далее – толщина лезвия) и скорость резания. Факторы кодировались по классическому методу [5]. Интервал варьирования определялся исходя из параметров базовых элементов, которые предполагалось использовать в экспериментальной установке, на основании анализа литературных источников и рядов поисковых экспериментов.

Предварительно было проведено исследование, позволившее установить зависимость скорости лезвия в момент срезания ботвы от начального угла β подъема рычага (см. рис. 1).

Результаты исследований. По полученным данным экспериментальных исследований, поставленных согласно некомпозиционному плану, рассчитывали коэффициенты кодированного уравнения регрессии (1). Значимость коэффициентов регрессии, однородность и адекватность уравнения определялись по известным методикам.

$$y = 0,337 - 0,045X_1 + 0,223X_2 + 0,05X_3 + 0,043X_1X_2 + 0,023X_2X_3 - 0,021X_1^2 + 0,041X_2^2 - 0,034X_3^2. \quad (1)$$

В графическом (натуральном) виде результаты экспериментального исследования представлены на рис. 3–5.

Интерпретация регрессионного уравнения (1) и данных, представленных на рис. 3–5, позволяет сделать ряд выводов:

1. В исследуемых диапазонах варьирования переменных факторов значение удельного сопротивления ботвы (стеблей) редиса резанию изменяется от 0,1 до 0,6 Н/мм².

2. Все три исследуемых фактора (угол установки лезвия, толщина лезвия и скорость резания) в заданных диапазонах варьирования оказались значимыми.

3. Наиболее значимым фактором является толщина режущей кромки лезвия: ее уменьшение от 0,5 до 0,1 мм позволило снизить удельное сопротивление резанию с 0,5–0,6 до 0,1–0,2 Н/мм², что в свою очередь позволяет рекомендовать к использованию для удаления ботвы ультратонкие лезвия с острой режущей кромкой, аналогичные сменным лезвиям канцелярских ножей.

4. Степень влияния скорости резания и угла установки лезвия в рассматриваемых диапазонах варьирования по модулю примерно одинакова.

5. Увеличение угла установки лезвия приводит к снижению удельного сопротивления резанию ботвы, однако влияние этого фактора существенно только при остром лезвии (до 0,3 мм). При затуплении режущей кромки до 0,5 мм оно практически нивелируется.

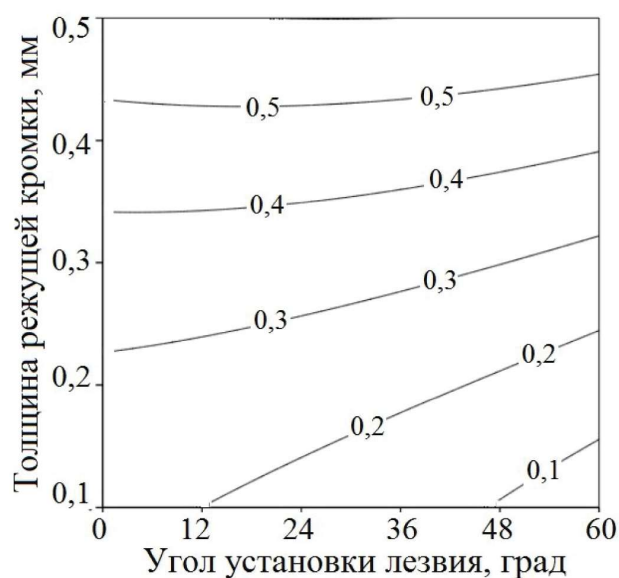


Рис. 3. Изолинии удельного сопротивления (Н/мм²) резанию ботвы редиса при скорости ножа $v = 0,33$ м/с (при $X_3 = 0$)

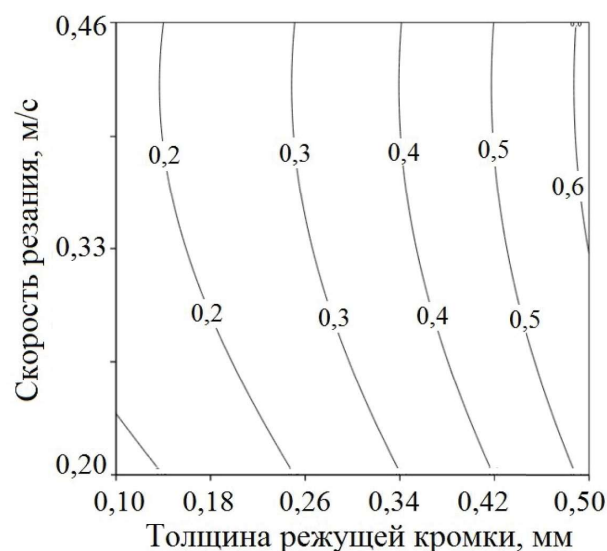


Рис. 4. Изолинии удельного сопротивления (Н/мм²) резанию ботвы редиса при значении угла установки лезвия $\alpha = 30^\circ$ (при $X_1 = 0$)

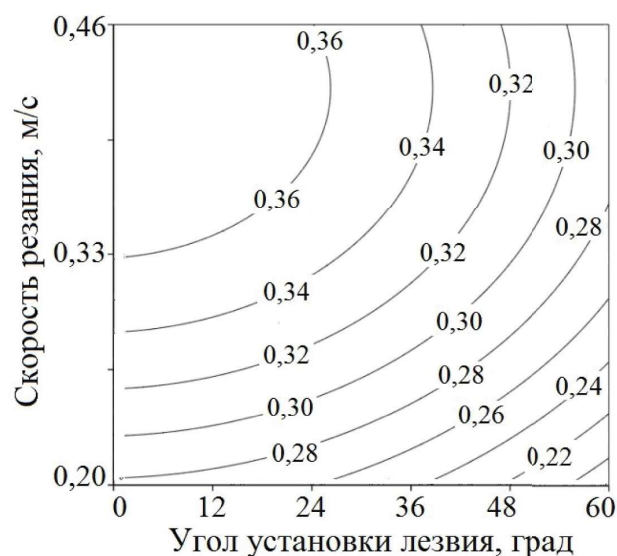


Рис. 5. Изолинии удельного сопротивления (Н/мм²) резанию ботвы редиса при значении толщины лезвия $t = 0,3$ мм (при $X_2 = 0$)

Факторы	Натуральное обозначение	Кодированное обозначение	Уровни		
			нижний -1	основной (нулевой) 0	верхний +1
Угол установки лезвия, град	α , град	X_1	0°	30°	60°
Толщина лезвия, мм	t , мм	X_2	0,1	0,3	0,5
Скорость резания, м/с	v , м/с	X_3	0,2	0,33	0,46

6. Увеличение скорости лезвия приводит к возрастанию сопротивления резанию, поэтому с энергетической точки зрения более выгодно задавать низкую скорость относительного движения ножа и ботвы. Однако, при этом визуально было отмечено, что при низких скоростях резания (0,2 м/с) и затуплении режущей кромки (от 0,3 мм) процесс резания преобразуется в процесс смятия. В отдельных случаях при низкой скорости ножа ботва вообще не отделялась. В связи с этим более рационально использовать средние значения скорости движения ножа (0,30–0,35 м/с).

Заключение. Представленное исследование направлено на выявление закономерностей процесса резания ботвы редиса. Проведенный факторный эксперимент позволил установить, что такие параметры, как угол установки лезвия, его толщина и скорость резания существенно влияют на энергетические показатели процесса отделения ботвы редиса, причем влияние первого фактора – обратное, остальных – прямое. Наиболее значимый в заданных диапазонах фактор – толщина режущей кромки лезвия, ее уменьшение от 0,5 до 0,1 мм позволяет снизить сопротивление резанию в 3–5 раз. В целом наиболее рациональным является следующее сочетание параметров и режимов работы ботвообрезающей машины: угол установки лезвия – 45–60°; толщина режущей кромки лезвия – 0,1 мм; скорость резания – 0,30–0,35 м/с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов Н.М., Лебедь Н.И., Мельников А.Г. Теоретическое обоснование процесса резания // Материалы V Междунар. науч.-практ. конф. молодых исследователей. – Волгоград, 2011. – Ч. III. – С. 312–316.
2. Антонов Н.М., Искунов Ю.В., Лебедь Н.И. Результаты экспериментальных исследований по определению усилий резания плодов и корнеплодов // Известия. – 2012. – № 2. – С. 137–141.

3. Ашитко А.А., Гавриш Е.А., Несмиян А.Ю. Технологические свойства растений редиса // Инженерные технологии и системы. – 2019. – Т. 29. – № 2. – С. 265–278.

4. Барановский В.М., Скальський О.Ю. Аналіз конструктивно-технологічних аспектів функціонування копачів коренеплодів // Innovative Solutions in Modern Science. 2016. Vol. 1, no. 1. P. 147–154. – Режим доступа: <https://naukajournal.org/index.php/ISMSD/article/view/709>.

5. Блинова Е.И. Планирование и организация эксперимента. – Минск, 2010. – 130 с.

6. Конструктивно-технологическая схема машины для обрезки редиса / Е.А. Гавриш [и др.] // Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Белгород, 2018. – С. 44–48.

7. Пат. 2671108 RU, МПК А23 N15/04. Устройство для обрезки корнеплодов / Несмиян А.Ю., Гавриш Е.А., Ашитко А.А., Колесник Р.Ю., Хижняк В.И., Асатурян С.В.; заявитель и патентообладатель: ФГБОУ ВО Донской ГАУ. – № 201100547; заявл. 09.01.2018; опубл. 29.10.2018, Бюл. № 31. – 9 с.: ил.

8. Aydin C., Ozcan M. Some physico-mechanic properties of terebinth (*Pistacia terebinthus* L.) fruits // Journal of Food Engineering. 2002. Vol. 53, issue 1. P. 97–101. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00145-5](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00145-5).

9. Identification development process adapted root crop machines / V.A. Dubrovin [et al.] // Machinery and Energetics. 2013. № 185. P. 12–28. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica/article/view/4625/4543>.

Ашитко Андрей Андреевич, аспирант, Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», Россия. 347740, г. Зерноград, ул. Ленина, 21. Тел.: (8928) 755-30-25; e-mail: ashitko2010@yandex.ru.

Ключевые слова: редис; уровень механизации; динамометрическая установка; эксперимент; фактор; скорость резания; удельное сопротивление.

THE DETERMINATION OF VALUES OF SPECIFIC RESISTANCE TO THE CUT OF THE RADISH TOP

Ashitko Andrey Andreevich, Post-graduate Student, Azov-Black Sea Engineering Institute of Don State Agrarian University, Russia.

Keywords: radish; mechanization level; dynamometer; experiment; factor; cutting speed; resistance.

The article deals with the problematic level of mechanization of small farms, especially during harvesting. When considering the process of harvesting root crops, including radish, the most difficult operation is the separation of tops. In this regard, the author conducted a series of studies to identify patterns of

the process of cutting tops on the example of radish. The study was carried out using a dynamometric installation developed at the Azov-Black Sea Engineering Institute of Don State Agrarian University, the basis of which was a pendulum cutting device, to which elements a control and measuring system was connected, including a strain gauge; elements of the signal conversion system and a personal computer or laptop with the ADCLabSE software product. The factor experiment made it possible to establish that such parameters as the angle of blade installation, its thickness and cutting speed significantly affected the energy performance of the process of separating radish tops, and the influence of the first factor was the opposite, the rest were direct.

