

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СРЕЗАНИЯ КОЧАНОВ КАПУСТЫ

Андрей Здобицкий

*Львовский национальный аграрный университет
Ул. В. Великого 1, Дубляны, Украина. E-mail: zdanyar31@gmail.com*

Andriy Zdobytskij

*Lviv National Agrarian University,
St. Vladimir the Great 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: zdanyar31@gmail.com*

Аннотация. Проведен анализ современного состояния технологического процесса уборки капусты средствами малой механизации, на основе чего обоснована целесообразность разработки устройства для срезания кочанов капусты на базе культиватора и исследования эффективности его работы в зависимости от конструктивных и технологических показателей.

Рассмотрены и проанализированы особенности процесса срезания кочанов капусты при различных режимах работы агрегата в зависимости от показателей самого урожая (связь корневища капусты с почвой). Также установлено условие контактного взаимодействия режущей культиваторной лапы с кочаном капусты, при котором происходит полный его срез.

Приведена методика и результаты исследования коэффициента трения кочана капусты по лезвию режущей лапы прибором конструкции В.А. Желиговского на различных частях корня (под корневой шейкой, средняя, верхняя части).

Определен основной критерий оценки качества работы устройства - количество несрезанных кочанов, который выражается в процентах и зависит от угла установки режущей лапы, скорости движения агрегата и высоты среза кочана.

Описана методика и результаты проведения полного трехфакторного планированного эксперимента на трех уровнях. Приведены результаты полевых испытаний машинно-тракторного агрегата, оборудованного предложенным устройством для срезки кочанов капусты на базе культиватора, а также соответствие показателей его работы агротехническим требованиям, которые предъявляются к процессу уборки.

Приведено уравнение регрессии для определения расчетным методом в процентах количества несрезанных кочанов капусты, на основе которого построены поверхности отклика влияния весомих факторов на критерий оптимизации. Установлено, что с ростом скорости движения агрегата более 2,5 км/ч, угла установки лапы более 25 градусов и высоты среза кочана (то есть в верхней части) уменьшается количество несрезанных кочанов до 5%, а при минимальных значениях параметров разработанного устройства данный показатель может возрасти до 10%.

Ключевые слова: капуста, кочан, устройство, режущая лапа, коэффициент трения, высота среза, агрегат.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

При производстве капусты важнейшими задачами являются сокращение потерь и снижение себестоимости продукции. Особенно большие потери капусты бывают при хранении. Важным условием повышения лежкости капусты является закладка кочанов на хранение без сильных механических повреждений. Повреждения кочанов капусты тесно связаны с использованием механизированных способов сбора, позволяющих значительно повысить производительность труда [1-3, 10].

В связи с этим актуальными являются исследования, направленные на разработку новых и совершенствование существующих рабочих органов и приспособлений для механизированного срезания кочанов капусты с наименьшими энергозатратами и минимальными повреждениями головок капусты.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Теоретические исследования процесса взаимодействия режущей лапы с кочаном капусты не нашли достаточного отображения в литературных источниках. В основном информация касается существующих технологий производства капусты и соответствующих средств механизации для их реализации, которым посвящен ряд научных работ как отечественных [3, 9, 12, 15], так и зарубежных [19, 20] ученых.

В результате анализа технологического процесса срезки кочанов исследователями установлено, что во время действия лапы на кочан капусты он может быть перерезан, разорван или выдернут из почвы, что абсолютно недопустимо. Для того чтобы срезать кочан капусты, необходимо, чтобы лезвие лапы было не толще 0,3 мм, а скорость движения агрегата – достаточна для обеспечения полного среза кочана. Ученые считали, что в случае обеспечения этих условий лапа своим лезвием будет выдерживать кочан капусты, а если корневая система не теряет связи с почвой, то он срезается, но не полностью. Разрушение кочана капусты может произойти от растяжения, излома, смятия или от действия этих деформаций одновременно. Это зависит не только от параметров самой лапы, но и от самого урожая. Основное требование к лапе состоит в том, чтобы трещины, которые образуются в почве, не освобождают от связей с почвой корневище капусты до тех пор, пока не оно будет срезано [4, 6-8].

На основе анализа теоретических положений процесса установлены условия скольжения материала вдоль лезвия во время резки. Когда скорость лезвия перпендикулярна его длине, то скольжения лезвия по материалу не происходит. Если лезвие движется под некоторым углом к нормали так, что углубившись в материал на некоторую величину, лезвие пройдет по касательному направлению определенному пути, то это перемещение не обязательно создаст продольное скольжение лезвия [8, 13].

Поскольку лезвие ножа (лапы) создает давление на кочерыжку, которая перерезается по нормали при действии нормального давления, то, рассматривая действие этой силы, ее раскладывали по направлению движения ножа вдоль лезвия. Рассматривая отдельно действие этих сил, было установлено, что когда точка лезвия встречает на своем пути материал, то сила нормального давления пытается эту часть материала переместить вместе с лезвием, а также вдоль лезвия ножа [16-18]. Чтобы частица материала скользила под действием силы, нормальной к лезвию, продольная сила должна преодолеть силу трения, которая зависит от коэффициента трения, последний необходимо определить экспериментально.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для повышения эффективности сбора урожая капусты частично механизированным способом необходимо разработать и испытать устройство для срезки кочанов капусты на базе культиватора; исследовать влияние основных его технико-технологических параметров на процесс и провести испытания экспериментальной установки в полевых условиях.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Силы трения всегда препятствуют перемещению одного из взаимодействующих тел относительно другого. Если одно тело скользит по поверхности другого, то это трение скольжения, а если катится по нему - трения качения.

При определении коэффициента трения кочанов капусты использовался прибор конструкции В.А. Желиговского (рис. 1) [16]. Поверхность трения избиралась аналогичная рабочей поверхности режущей лапы.

В качестве объекта исследований выбраны кочерыжки капусты, которые фиксировались в каретке прибора В.А. Желиговского, на линейке которого закреплялся образец поверхности трения. Наклонная плоскость подымалась на угол, при котором начиналось движение кочанов. Определив направление равнодействующей от силы трения и нормали, путем построения силового треугольника был найден угол и коэффициент трения. Прибор для определения коэффициента трения кочанов капусты по поверхности режущей лапы (рис. 1) состоит из линейки 1, каретки 2, самописца 3, исследуемой пары материалов 4, колодки 5, горизонтальной поверхности с чертежной бумагой 6.

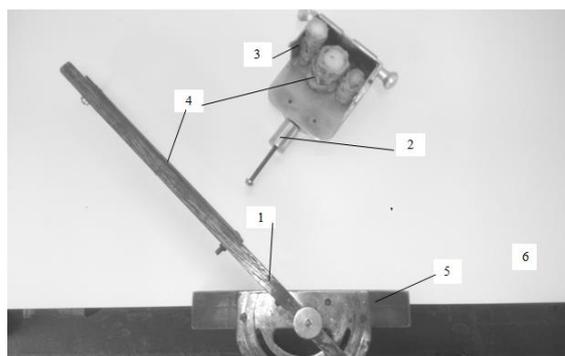


Рис. 1. Оборудование для исследования коэффициента трения

Fig. 1. Equipment for research coefficient of friction

Испытаниям подвергались несколько кочанов с различными размерно-массовыми характеристиками (рис. 2) с одинаковой влажностью (чем устранялось изменение их физико-механических свойств).



Рис. 2. Образцы исследуемых материалов

Fig. 2. The samples studied materials

Поскольку согласно агротехническим требованиям высота среза кочанов капусты может быть различной и зависит от высоты растения, исследовались три разные части кочана (под корневой шейкой, средняя и верхняя части) (табл. 1).

Таблица 1. Результаты исследования коэффициентов трения лапы по разным частям кочана

Table 1. Results of the study of friction coefficients paws on different parts of head

Поверхность трения	Значение коэффициента		
	максимальное	минимальное	среднее
Под корневой шейкой	0,75	0,62	0,68
Средняя часть	0,45	0,6	0,52
Верхняя часть	0,5	0,45	0,47

На основе анализа полученных данных (табл. 1) установлено, что минимальное значение коэффициента трения соответствует верхней части кочана, поскольку допускается остаток кочана не более 3 см.

Полученные экспериментально значения коэффициента трения использовались для определения конструктивных параметров режущей лапы и угла ее установки, при котором обеспечивается полный срез кочанов согласно технологическим показателям работы.

На основе проведенного аналитического и экспериментального исследования процесса срезания кочанов установлено, что качество работы разработанного устройства зависит от следующих факторов: x_1 – угол установки режущей лапы, град; x_2 – скорость движения агрегата, км/ч; x_3 – высота среза кочана, мм.

Для установления взаимосвязи между факторами и критерием оптимизации (процент несрезанных кочанов) проведен полный трехфакторный планированный эксперимент на трех уровнях типа $3k$, который дал возможность получить уравнения регрессии при минимальном количестве опытов и минимальных затратах на обработку полученных результатов с максимальной их информативностью [5, 11, 14].

Выбрав пределы изменения факторов и переведя натуральные значения в безразмерные величины, мы осуществили кодирование факторов согласно методике [11]. Полученные результаты расчетов внесены в табл. 2.

Таблица 2. Варьирование факторов
Table 2. Variation factors

Фактор	Уровень факторов			Интервал, ϵ
	нижний	нулевой	верхний	
	-	0	+	
x_1 – угол установки режущей лапы, град;	20	25	30	5
x_2 – скорость движения агрегата, км/ч.	1	2	3	1
x_3 – высота среза кочана, мм.	0	25	50	25

Для проведения исследований разработана экспериментальная установка устройства для срезания кочанов капусты (рис. 3). Данное приспособление устанавливается на место рабочих органов культиватора и служит средством для срезания кочанов на необходимую высоту, рабочим органом которого является установленный под углом к направлению движения горизонтальный пассивный подрезной нож 1 (режущая лапа) с закрепленной сбоку вертикально расположенной пластиной, установленной на стойке 3. К пластине 2 с помощью оси с подшипником 4 прикреплен вертикальный дисковый нож 5. В стойке 3 и пластине 2 выполнен продольный паз для перемещения ножа 1 с пластиной 2 относительно дискового ножа 5 с фиксацией в заданном положении с помощью бокового крепления. Тильная сторона горизонтального пассивного ножа 1 расположена под углом 20-30 градусов к плоскости дискового ножа 5. Рабочий орган крепится шарнирно к секции культиватора 6.

Результаты проведенных экспериментальных исследований выражены математической моделью в виде полинома, который называется уравнением регрессии, в таком виде [11, 14]:

$$y = 7,55 + 0,16 \varphi + 3 v - 0,137h - 0,5 v^2 - 0,0014h^2 \quad (1)$$

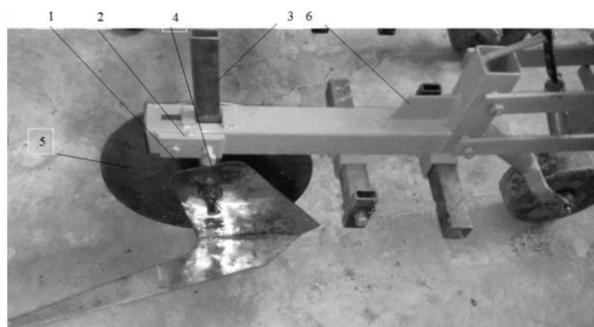


Рис. 3. Общий вид экспериментального образца устройства для срезания кочанов капусты

Fig. 3. General view of the experimental sample device for cutting cabbages

Уравнение регрессии в раскодированном виде позволяет определить расчетным методом в процентах количество несрезанных кочанов капусты в процессе работы разработанного устройства. Область эксперимента выбрана на основании проведенных исследований, которыми установлено, что при минимальной скорости движения агрегата и высоте среза растет процент несрезанных кочанов капусты и, как следствие, увеличиваются затраты труда и времени на процесс сбора капусты, в частности загрузки кочанов на платформу, которая движется впереди работников.

На основе уравнения (1) построены поверхности отклика (рис. 4 – 6). Во время их построения варьировались только два фактора, а третий оставался равным нулю. Для этого нами было использовано программное обеспечение Statistica 6.0. Как видно из рис. 4 – 6, с ростом скорости движения агрегата свыше 2,5 км/ч, угла установки лапы более 25 градусов и высоты среза кочана (у верхней части) уменьшается количество несрезанных кочанов до 5%, а при минимальных значениях параметров разработанного устройства этот показатель может возрасти до 10%.

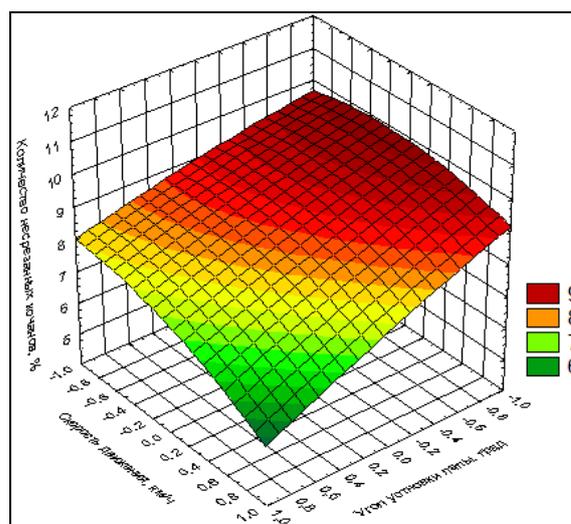


Рис. 4. Поверхности отклика $f(v, \varphi)$

Fig. 4. Surface review $f(v, \varphi)$

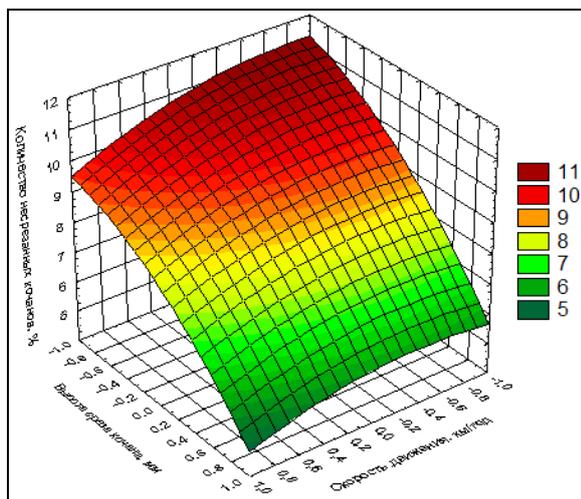


Рис. 5. Поверхности отклика $f(h, v)$
Fig. 5. Surface review $f(h, v)$

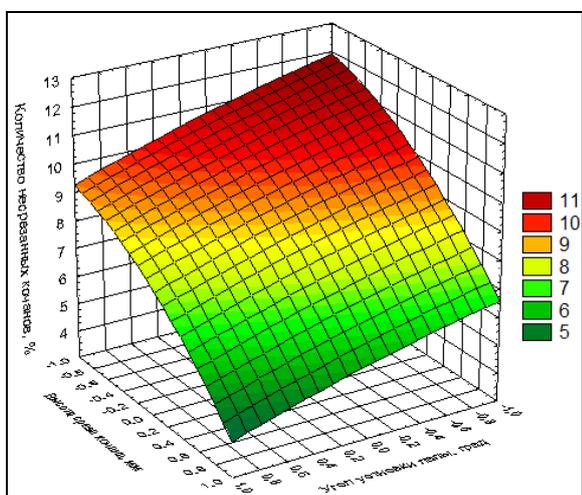


Рис. 6. Поверхности отклика $f(h, \varphi)$
Fig. 6. Surface review $f(h, \varphi)$

Для применения частично механизированной технологии уборки капусты изготовлен и испытан экспериментальный образец устройства для срезания кочанов. Производительность за 1 ч. времени составляет 0,18 га, а угол установки режущей лапы составляет 28 град.



a)



b)

Рис. 7. Экспериментальное орудие для срезания кочанов капусты: a – общий вид капусторезального агрегата; б – работа агрегата в поле

Fig. 7. Experimental tools for cutting cabbages: a – general view of cabbages cut of aggregate; b – there is a fieldwork of aggregate

На рис. 7 представлен машинотракторный агрегат, оборудованный устройством для срезания кочанов капусты на базе культиватора, который обеспечивает следующие агротехнические показатели работы:

- сплошной срез всех сортов капусты, которые предусмотрены для сбора и имеют средние и поздние сроки созревания;
- количество допустимых потерь стандартных кочанов не более 1%;
- из-за разной высоты среза в пределах от 0 до 50 мм – остатки кочана не более 3 см;
- количество загрязненных и с механическими повреждениями кочанов в совокупности не выше 5% по массе.

ВЫВОДЫ

Обоснованы целесообразность и актуальность проблемы повышения качества выполнения технологического процесса уборки капусты, а также возможности уменьшения затрат труда на процесс срезания кочанов.

1. Для повышения эффективности технологии уборки капусты предложено применить устройство для срезания кочанов, которое может использоваться при частично механизированном способе уборки. Данное приспособление устанавливается на место рабочих органов культиватора и служит средством для срезания кочанов на необходимую высоту.

2. Разработанные программа и методики экспериментальных исследований, позволяют подтвердить адекватность теоретических положений, провести экспериментальное определение параметров и использовать их в аналитических зависимостях, описывающих процесс срезания кочанов.

3. В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что основным критерием качественной работы разработанного устройства является количество несрезанных кочанов (выражается в процентах), которое зависит от

угла установки режущей лапы, скорости движения агрегата и высота среза кочана.

4. Результаты проверки устройства для среза кочанов капусты на базе культиватора в полевых условиях показали, что данное приспособление обеспечивает агротехнические требования полный срез кочанов, а также повышает эффективность процесса уборки урожая капусты.

5. Для применения частично механизированной технологии уборки капусты изготовлен и испытан экспериментальный образец устройства для среза кочанов. Производительность за 1 час рабочего времени составляет 0,18 га, угол установки режущей лапы составляет 28 градусов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **АС. № 483084** МПК А01D45/26 СССР Устройство для уборки капусты / Омельченко С.Н., Шкатова А.П., Музлаев Э.С., Ермоленко П.Г. и Вульфович В.П. – №191384630-15; заявл. 28.04.73; опубл. 05.09.75. Бюл. № 33.
2. **АС. № 704512** СССР, МПК А01D45/26 Рабочий орган капустоуборочной машины / Нананенко А. К. и Локтионов Г. Г. – № 2567674/30-15; – заявл. 10.01.78; опубл. 25.12.79. Бюл. №47.
3. **Балаев Т.Б., Попов А.А., Романовский Н.В. 1988.** Поточная технология уборки капусты // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – № 10. 14.
4. **Босой Е.С. 1967.** Режущие аппараты уборочных машин – М.: Машиностроение, 168.
5. **Веденяпин Г.В. 1973.** Общая методика экспериментального исследования и обработки данных/ Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 199.
6. **Войтюк Д.Г., Яцун С.С., Довжик М.Я. 2006.** Теория сельскохозяйственных машин: практикум; учеб. пособ. за ред. С. С. Яцуна. – К.: Аграрное образование, 156. (Украина).
7. **Горячкин В. П. 1968.** Собрание сочинений: в 3 т. Изд. 2-е. М.: Колос, 720.
8. **Заика П. М. 2001.** Теория сельскохозяйственных машин : учеб. пособ. Т. 1, ч. 1: Машины и орудия для обработки почвы; Харьк. гос. техн. ун-т. сельск. гоз-ва. – Харьков: ОКО, 444. (Украина).
9. Капуста белокочанная. 1988. Технология промышленного производства. - М.: ВО Агропромиздат, 77.
10. **Майковский И.А., Попов П.С. 1976.** Направление развития конструкций технических средств уборки кочанной капусты (отечественный и зарубежный опыт): обзор информ. // ЦНИИЭТИ Тракторсельхозмаш. Сер. Сельскохозяйственные машины, агрегаты и узлы. – М., 48.
11. **Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рощин П.М. 1980.** Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов – Л.: Колос, 168.
12. **Петров Г.Д., Бекетов П.В. 1983.** Механизация возделывания и уборки овощей – М.: Колос. 287.
13. **Резников Л.А. Ещенко В.Т. 1991.** Основы проектирования и расчета сельскохозяйственных машин / Л.А. Резников. – М.: Агропромиздат, – 543.
14. **Сиротюк В.М. 2004.** Машини та обладнання для тваринництва: навч. посіб. – Львів : Магнолія плюс, 200.
15. **Трубилин Е.Н., Аблик В.А., Соломатина Л.П., Лютый А.Н. 2009.** Машины для уборки сельскохозяйственных культур «Конструкции, теория и расчет учеб. пос. - 2 изд перераб. и дополн.– КГАУ, Краснодар, 216.
16. **Хайлис Г.А., Ковалев М.М. 1994.** Исследования сельскохозяйственной техники и обработка опытных данных – М.: Колос, 169.
17. **Хайлис Г.А. 1992.** Основы теории и расчета сельскохозяйственных машин : учеб. пособие. – К.: Изд – во УСГА, 240. (Украина).
18. **Хайлис Г.А. 1994.** Механика растительных материалов – К.: УААН, 335.
19. **Kowalczyk Z., Wnęk A. 2007.** Ekonomiczne aspekty mechanizacji produkcji gruntowej raz pod osłonami wybranych warzyw. Inżynieria Rolnicza Kraków. 6 (94). 268.
20. **Bohdziewicz J. 2006.** Właściwości mechaniczne warzyw o kształcie kulistym. InŜynieria Rolnicza Kraków 5 (80) 420.

SUBSTANTIATION OF THE PARAMETERS OF THE DEVICE FOR CUTTING CABBAGES

Summary. The current state of the technological process of cabbage harvesting by means of small mechanization are analysed; on the basis of analyse the expediency of the development of a device to cut the cabbage heads at the cultivator base is grounded and of the effectiveness of developed mean depending on constructive and technological parameters should be studied.

The process features of the cabbage heads cut in different modes of unit operation depending on the crop yield (the cabbage rhizome sprouts connection with soil) are reviewed and analysed. It is also the condition of contact interaction of the cultivator cutting blade with the head of cabbage are established in which the head of cabbage is cut completely.

The methodology and results of a study of the friction coefficient of cabbage on the cutting blades with device of V.A. Zheligowski design on different parts of the root (under root neck, middle, top) are carried out.

The main criterion for assessing the quality of the device - the number of not cut cabbage heads is expressed in percentages and depends on the angle installation of the cutting blades as well the speed of the unit and the height of cut of head are determined.

The methodology and results of the full three factor planned experiment at three levels are described. The results of field testing of tractor aggregate equipped with the proposed device for cabbage heads cutting at the base of the cultivator are carried out, as well the compliance of indicators of cultivator work to the agricultural requirements of the harvesting process.

The regression equation for determination of the percentage of the number of not cut cabbage heads by

calculus mode are presented as well the response surface of the influence of significant factors on the optimization criterion. It is established that with increasing of speed of the unit by more than 2.5 km/h, the installation angle of the cut blades more than 25 degree and cutting height of head in the top the number of not cut

cabbage heads are reduced to 5%. With the minimum values of the maintenance parameters of the developed device the number of not cut cabbage heads could increase to 10%.

Key words: cabbage, head, device, cutting blade, the friction coefficient, cutting height.