

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ВИНОГРАДНОЙ ЛОЗЫ ПОДБОРЩИКОМ-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕМ

© 2025 г. **З. А. Годжаев**¹, доктор технических наук, член-корреспондент РАН, **В. В. Лиховской**², доктор сельскохозяйственных наук, **В. П. Горобей**², доктор технических наук, **В. Ю. Москалевич**³, кандидат технических наук

¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
109428, Москва, 1-й Институтский проезд, 5

²Всероссийский национальный научно-исследовательский институт
виноградарства и виноделия «Магарах» РАН,
298600, Ялта, ул. Кирова, 31

³Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского,
Институт «Агротехнологическая академия»,
295492, Республика Крым, Симферополь, п. Аграрное
E-mail: fic51@mail.ru

Исследования проводили с целью обоснования направлений снижения энергоемкости и определения технико-технологических показателей режимов работы измельчающего узла подборщика-измельчителя виноградной лозы. Выполняли расчет скорости поворота измельчающего ножа, закрепленного шарнирно на барабане, разрушающей скорости ножа при ударном воздействии на лозу. Для нахождения координат X_c и Y_c центра тяжести S и момента инерции J ножа была создана его 3D-модель в программе Компас-3D. При расстоянии от оси вращения O барабана до оси вращения O_1 ножа $r=0,05$ м нож может осуществлять до 10 перерезаний лозы диаметром 9,3 мм за один оборот барабана, а при $r=0,1$ м – до 18 перерезаний. Полученные закономерности использованы при подготовке макетного образца машины для производственного подбора и измельчения виноградной лозы в 2023–2024 гг. в междурядьях молодых и плодоносящих виноградников сортов Каберне Совиньон и Мерло шириной 3 м в условиях Республики Крым в узле измельчителя с радиусом барабана ($R=0,52$ м), массой молотка ($m=0,5$ кг), длиной ($L=0,10$ м), количеством молотков ($k=32$ шт.), количеством противорезающих решеток (2 шт.), шириной захвата барабана (1,5 м). Оптимальные режимные параметры машины: частота оборотов вала подборщика – 400 об/мин, частота оборотов измельчающего барабана – 2100 об/мин, скорость движения агрегата – 1,2 м/с, технологический просвет для бил подборщика – 30...60 мм, технологический просвет для ножей измельчителя – 150...200 мм. Полнота подбора лозы составила 95 % при средней длине измельченных обрезков 8,0 см. Средняя длина измельченных обрезков составила 80 мм при полноте подбора лозы 95 %. Производительность машины увеличилась в 1,4 раза, а энергоемкости процесса измельчения снизилась в 1,1 раза.

REDUCING THE ENERGY INTENSITY OF THE PROCESS OF CRUSHING GRAPE VINES WITH A PICK-UP-CHOPPER

Z. A. Godzhaev¹, **V. V. Likhovskoy**², **V. P. Gorobey**², **V. Yu. Moskaevich**³

¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
109428, Moscow, 1-i Institutskii proezd, 5

²All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking «Magarach»
of the Russian Academy of Sciences, Yalta, Russia
298600, Yalta, ul. Kirova, 31

³V.I. Vernadsky Crimean Federal University – Institute «Agrotechnological Academy»,
295492, Respublika Krym, Simferopol', p. Agrarnoe
E-mail: fic51@mail.ru

The aim of the research is to substantiate the directions of energy consumption reduction and determination of technical and technological indicators of modes of operation of the chopping unit of the grapevine picker-shredder. The calculations of the rotation speed of the chopping knife fixed articulated on the drum, the destructive speed of the knife at the impact impact on the vine are carried out. To find X_c and Y_c coordinates of the centre of gravity O and moment of inertia J of the knife, its 3D-model was created in the Compass-3D program. At the distance from the axis of rotation O of the drum to the axis of rotation O_1 of the knife $r=0.05$ m the knife can carry out up to 10 cuts of the vine with a diameter of 9.3 mm per one revolution of the drum, and at $r=0.1$ m – up to 18 cuts. The obtained regularities were used in the preparation of a mock-up model of the machine for production selection and chopping of vines in 2023–2024. in the inter-row young and fruit-bearing vineyards of Cabernet Sauvignon and Merlot varieties with a width of 3 m in the conditions of the Republic of Crimea in the chopper unit with the drum radius ($R=0.52$ m), the mass of the hammer ($m=0.5$ kg), length ($L=0.10$ m), the number of hammers ($k=32$ pcs.), the number of contradictory grids (2 pcs.), the width of the drum (1.5 m). Optimal mode parameters of the machine: pickup shaft speed – 400 rpm, shredding drum speed – 2100 rpm, machine speed – 1.2 m/s, technological clearance for pickup beats – 30...60 mm, technological clearance for shredder knives – 150...200 mm. Completeness of vine picking was 95 % with an average length of shredded clippings of 8.0 cm. The average length of shredded clippings in the 3 m wide row spacing was 80 mm with the completeness of vine picking of 95 %. The productivity of the machine increased by 1.4 times and the energy consumption of the shredding process decreased by 1.1 times.

Ключевые слова: виноградная лоза, подборщик, измельчитель, макетный образец, разрушение, нож, резание, удар, схема, скорость, энергия, параметры.

Keywords: grapevine, pick-up, chopper, mock-up sample, destruction, knife, cutting, impact, diagram, speed, energy, parameters.

Мульчирование почвы в междурядьях сада щепой срезанных веток способствует улучшению агрофизических свойств почвы, обеспечивает повышение урожайности культур. Наиболее перспективны для реализации технологии измельчения сучьев непосредственно при движении по междурядью сада машины марок Perfect (Голландия), Celli (Италия), Tehnos (Италия), Mega Metal (Хорватия). Анализ конструкций измельчительных машин и их работы при переработке ветвей показал, что наиболее энергоемкая операция – резание ветвей. Энергоемкость этого процесса рассматривается как отношение затраченной энергии на резание древесины режущими кромками ножей, установленных на роторе измельчителя, в расчете на единицу массы или объема перерабатываемой древесины срезанных ветвей. Важное условие при создании технических средств – максимально возможное снижение их энергоемкости. Основные недостатки используемых машин для измельчения виноградной лозы – большая металлоемкость и, как следствие, энергоемкость, а также нарушение агротехнических требований при выполнении технологического процесса. Скорость удара рабочего органа по измельчаемому материалу ниже скорости распространения по обрезку продольных упругих волн напряжений. Следовательно, в деформации растяжения от поперечного удара будет участвовать только незначительная часть обрезка, равная длине пути деформации [1, 2]. При создании технических средств для подбора и измельчения виноградной лозы необходимо обеспечить их минимально возможную энергоемкость. Установлено, что эффективность процесса измельчения зависит от продольного расщепления растительных волокон, а основные параметры, влияющие на нее, – степень измельчения и удельная энергоемкость [3, 4].

Согласно результатам многолетних исследований по разработке машин для подбора и измельчения лозы, установлено, что длина частей обрезков для утилизации с разбрасыванием измельченной массы по междурядью не должна превышать 10 см [5]. При усовершенствовании подборщика-измельчителя обрезков виноградной лозы, направленном на упрощение конструкции, повышение эксплуатационной надежности и производительности, подборщик и измельчающий барабан были выполнены вращающимися в одном направлении [6]. Лоза проходит под кожухом-надбарабаньем, расположенным над измельчающим барабаном с шарнирно закрепленными молотковидными ножа-

ми с цилиндрической формой кромки лезвия в виде сегмента эксцентрической окружности. Определение оптимальных технико-технологических показателей работы подборщика-измельчителя виноградной лозы с новыми техническими решениями на макетном образце – актуальная задача.

Цель исследований – снижение энергоемкости и определение технико-технологических показателей режимов работы измельчающего узла подборщика-измельчителя виноградной лозы.

Методика. Исследования проводили в условиях ООО «Кроненталь» (с. Кольчугино, Симферопольский район). Измельчение обрезанной лозы выполняли в междурядьях плодоносящих виноградников сорта Каберне Совиньон и молодых (2020–2021 гг. посадки) сорта Мерло шириной 3 м на общей площади 34,5 га.

Макетный образец подборщика-измельчителя обрезков виноградной лозы (рис. 1) содержит раму, пальцевый подборщик, измельчающий барабан с ножами, кожух, противорезы. С учетом новых технических решений он снабжен подборщиком с пальцами, выполненными из пластин с пилообразными вырезами, и направляющим фартуком выпуклой формы. Измельчитель укомплектован молотковидными ножами, лезвия которых имеют выпуклую форму в виде сегмента эксцентрической окружности, а также лопатками с зубчатым профилем в верхней части, расположенными перпендикулярно его плоскости. Барабан измельчителя закрыт легкоъемным кожухом с противорезающими пилонами, имеющими серповидный зубчатый профиль. На раме под кожухом установленные противорезы П-образной формы со скошенной рабочей кромкой. Радиусы кривизны лопатки, режущей кромки ножа и поверхности барабана идентичны, а между ножами и серповидными пилонами установлен зазор, регулируемый путем фиксации положения кожуха, передняя часть которого закреплена на раме продольными шарнирами, а задняя – подпружиненно связана с винтовым механизмом.

Перед проведением теоретических исследований по определению энергетических характеристик барабана измельчителя с шарнирным креплением ножей была построена его кинематическая схема и создана 3D-модель. Для обеспечения условия малоэнергоемкого резания с ударом виноградной лозы шарнирно закрепленными ножами барабана измельчителя выполняли расчеты скорости поворота ножа относительно шарнира



Рис. 1. Общий вид макетного образца подборщика-измельчителя виноградной лозы: (а) сбоку; (б) спереди.

Табл. 1. Требования к машине для подбора и измельчения обрезков лозы в междурядьях

Показатель	Значение требования
Агротехнические требования и качество работы	Измельчение срезанных обрезков и веток на части длиной до 10 см, доля которых должна составлять не менее 85 % от общей массы валка
Энергетическое средство (тяговый класс, мощность)	14...20 кН (44,15 кВт)
Способ агрегатирования	навесная
Скорость, км/ч:	
рабочая	не менее 2,5
транспортная	до 8
Энергоемкость технологического процесса, кВтЧ	63
Производительность, га/ч:	
основного времени	0,85
эксплуатационного времени	0,7

и разрушающей скорости при ударном воздействии ножа на лозу.

Экспериментальные исследования макетного образца подборщика-измельчителя виноградной лозы, агрегатированного с трактором МТЗ-82, проводили на режимах работы машины, направленных на снижение затрат энергии: скорость движения машинно-тракторного агрегата – 2,5...4,5 км/ч с учетом конструктивных особенностей привода измельчающего барабана, обеспечивающего передаточное отношение 3,9, частота оборотов вала подборщика – 200...500 об/мин.

Полученные данные исследуемых параметров сравнивали с показателями карты требований к машине для подбора и измельчения обрезков лозы в междурядьях (табл. 1), разработанной при выполнении научной темы Институтом «Магарач» РАН в предшествующем периоде (Отчет ФГБУН «ВНИИВИВ «МАГАРАЧ» РАН» о НИР 2019. ГЗ № 0833-2019-0021).

Результаты и обсуждение. Рассмотрим движение измельчающего барабана с шарнирным креплением ножей без учета поступательной скорости движения машины (рис. 2). Будем считать рациональным такой режим работы измельчителя, при котором измельчение виноградных лоз обеспечивается при минимальных затратах энергии. Для этого рассмотрим систему «барабан–нож» в произвольный момент времени с учетом угловых перемещений ножа. В этом случае система имеет две степени свободы. В качестве обобщенных координат положения барабана с ножом примем углы поворота барабана θ и ножа α .

При встрече с частями измельчаемых виноградных лоз нож, шарнирно закрепленный на барабане, преодолевая их сопротивление резанию, также изменяет свою скорость. Масса ножа значительно больше массы частей лозы, поэтому изменение его скорости незначительно. Тем не менее, множество раз встречаясь с измельчаемыми лозами, нож каждый раз несколько отклоняется в сторону, противоположную направлению вращения барабана, и вновь возвращается в первоначальное положение. Таким образом, при круговом движении вместе с барабаном нож совершает колебательные движения вокруг оси шарнира [7].

Параметры ножа, влияющие на частоту его колебаний, – его размеры и масса. Согласно результатам исследований Е. Вирвелькера, точка приложения восстанавливающей силы, определяющей колебания ножа, совпадает с центром его тяжести C [7].

Запишем уравнения для координат центра тяжести C ножа в абсолютном движении:

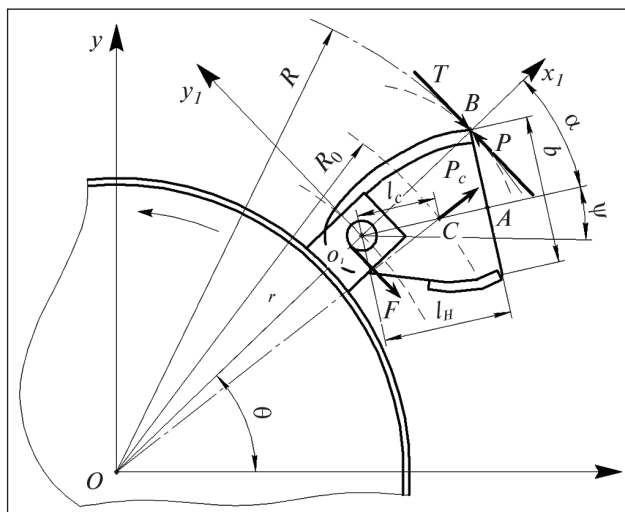


Рис. 2. Кинематическая схема измельчающего барабана с шарнирным креплением ножа: r – расстояние от оси вращения O барабана до оси вращения O_1 ножа, м; l_c – расстояние от оси вращения O_1 ножа до его центра тяжести C , м; θ – угол поворота барабана в неподвижной системе координат XOY , рад; ψ – угол поворота ножа в неподвижной системе координат XOY , рад; l_n – длина ножа, м; b – ширина ножа, м; T – сила сопротивления резанию виноградной лозы, Н; F – силы трения в шарнире, Н; P – окружное усилие, Н; P_c – центробежная сила ножа, Н; R_0 – радиус вращения центра тяжести ножа, м; R – радиус вращения барабана в точке приложения силы T .

$$\begin{aligned} x_c &= r \cos \theta + l_c \cos \psi, \\ y_c &= r \sin \theta + l_c \sin \psi, \end{aligned} \quad (1)$$

где r – расстояние от оси вращения O барабана до оси вращения O_1 ножа, м;

l_c – расстояние от оси вращения O_1 ножа до его центра тяжести C , м;

θ – угол поворота барабана в неподвижной системе координат XOY , рад;

ψ – угол поворота ножа в неподвижной системе координат XOY , рад.

Дифференцируя уравнение (1) по времени, получим выражения для составляющих скорости $\dot{x}_c$ и $\dot{y}_c$ по координатам центра тяжести ножа:

$$\begin{aligned} \dot{x}_c &= -r\dot{\theta} \sin \theta - l_c \dot{\psi} \sin \psi, \\ \dot{y}_c &= r\dot{\theta} \cos \theta + l_c \dot{\psi} \cos \psi, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\dot{\theta}$ – угловая скорость барабана в неподвижной системе координат XOY , с⁻¹;

$\dot{\psi}$ – угловая скорость ножа в неподвижной системе координат XOY , с⁻¹.

Скорость V_c центра тяжести ножа в неподвижной системе координат XOY можно рассчитать по выражению:

$$V_c = \sqrt{r^2 \dot{\theta}^2 + l_c^2 \dot{\psi}^2 + 2rl_c \dot{\theta} \dot{\psi} \cos(\theta - \psi)}, \quad (3)$$

где $(\theta - \psi)$ – угол отклонения ножа в подвижной системе координат $X_1O_1Y_1$, рад.

Отклонившись после перерезания лозы, нож без начальной скорости под действием центробежной силы начинает совершать свободные колебания относительно радиального положения. Рациональному по энергозатратам соответствует режим работы, при котором в начале следующего реза нож занимает радиальное положение и его относительное движение совпадает по направлению с вращением барабана.

Подставив в выражение (3) значения ψ и $\dot{\psi}$ при совпадении направления вращения барабана и ножа, получим следующую формулу для определения скорости центра тяжести ножа:

$$V_c = \sqrt{r^2 \dot{\theta}^2 + l_n^2 (\dot{\theta} + \dot{\alpha})^2 + 2rl_n \dot{\theta}(\dot{\theta} + \dot{\alpha}) \cos \alpha}, \quad (4)$$

где α – угол отклонения ножа от радиального положения, рад;

$\dot{\alpha}$ – угловая скорость ножа, c^{-1} .

С учетом формулы (4) скорость ножа в крайней точке его лезвия B (см. рис. 2) будет равна:

$$V_B = \sqrt{r^2 \dot{\theta}^2 + (l_n^2 + 0,25b^2) \cdot (\dot{\theta} + \dot{\alpha})^2 + 2rl_n \sqrt{l_n^2 + 0,25b^2} \cdot \dot{\theta}(\dot{\theta} + \dot{\alpha}) \cos \alpha}, \quad (5)$$

где l_n – длина ножа, м;

b – ширина ножа, м.

При $\alpha=0$ и $\dot{\alpha} \geq 0$ скорость ножа в точке B будет максимальной:

$$V_B = (r + \sqrt{l_n^2 + 0,25b^2}) \cdot (\dot{\theta} - \dot{\alpha}). \quad (6)$$

По формуле (6) можно определить максимальную линейную скорость точки B ножа с шарнирным креплением, при которой достигается наиболее рациональное использование динамики барабана при измельчении лозы, не требующее дополнительных энергозатрат со стороны привода.

Примем, что в начальный момент времени взаимодействия ножа с лозой угол его отклонения от радиального положения $\alpha=0$. Считая, что при перерезании лозы нож расходует свою кинетическую энергию, полностью теряя при этом скорость ($V_B=0$), найдем скорость поворота ножа относительно шарнира (точки O):

$$\dot{\alpha} = \frac{(r + \sqrt{l_n^2 + 0,25b^2})}{\sqrt{l_n^2 + 0,25b^2}} \quad (7)$$

Для измельчения виноградной лозы с минимальными энергозатратами скорость воздействия ножа на лозу должна быть такой, чтобы в начальный момент вызвать разрыв ее волокон по типу хрупкого разрушения, для которого характерны отсутствие пластических деформаций и небольшая разность между пределами текучести и прочности. В этом случае выражение для разрушающей скорости v_p при ударном воздействии ножа на лозу выглядит следующим образом:

$$v_p = 0,5k_y C_0 \operatorname{tg}^3(k_\theta \gamma_{cm}), \quad (8)$$

где k_y – коэффициент удара, равный соотношению скорости разрушения к критической скорости;

C_0 – скорость распространения упругих (продольных) волн деформации по лозе, м/с;

k_θ – коэффициент динамичности, равный отношению динамического угла излома к статическому углу излома;

γ_{cm} – статический угол излома, град.

Сопоставив выражения (6) и (8), получим условие малоэнергетического резания с ударом виноградной лозы шарнирно закрепленными ножами барабана измельчителя:

$$(r + \sqrt{l_n^2 + 0,25b^2}) \cdot (\dot{\theta} - \dot{\alpha}) \geq 0,5k_y C_0 \operatorname{tg}^3(k_\theta \gamma_{cm}). \quad (9)$$

По экспериментальным данным для одревесневшей виноградной лозы $C_0=1000$ м/с, $k_\theta=2,75 \dots 3,1$. Измерения размерных характеристик обрезанных лоз в междурядьях виноградников показали, что их диаметр находится в пределах от 8,8 до 9,3 мм, которому соответствует значение статического угла излома $\gamma_{cm}=6,7 \dots 8,4^\circ$, определенное по экспериментальным данным [8].

Принимая значение коэффициента удара для виноградной лозы $k_y=1,3$, по формуле (8) расчетное значение разрушающей скорости $v_p=24 \dots 51$ м/с (меньшие значения соответствуют большему диаметру лоз).

Расчеты по выражению (9) показывают, что для соблюдения условия малоэнергетического резания с ударом виноградной лозы барабаном измельчителя с шарнирно закрепленными ножами, длина ножа должна находиться в пределах $l_n=0,15 \dots 0,18$ м.

Поворот ножа вокруг шарнира (точки O_1) происходит в том случае, когда момент M_T от действующей на него силы T сопротивления резанию виноградной лозы лезвием L ножа, выполненным по форме эксцентрической окружности, больше суммы моментов M_F от силы трения F и M_p от окружного усилия P :

$$M_T \geq M_F + M_p, \quad (10)$$

$$M_T = T \sqrt{l_n^2 + 0,25b^2}, \quad (11)$$

$$M_F = fP_c r = f \frac{J \dot{\theta}^2}{R_0} r, \quad (12)$$

$$M_p = P \cdot R = \frac{N}{\dot{\theta} k}, \quad (13)$$

где f – коэффициент трения в шарнире ножа;

P_c – центробежная сила ножа, Н;

J – момент инерции ножа относительно оси шарнира, $kg \cdot m^2$;

R_0 – радиус вращения центра тяжести ножа, м;

R – радиус вращения ножа в точке приложения силы T , м;

N – мощность, передаваемая на барабан, Вт;

k – число ножей на барабане.

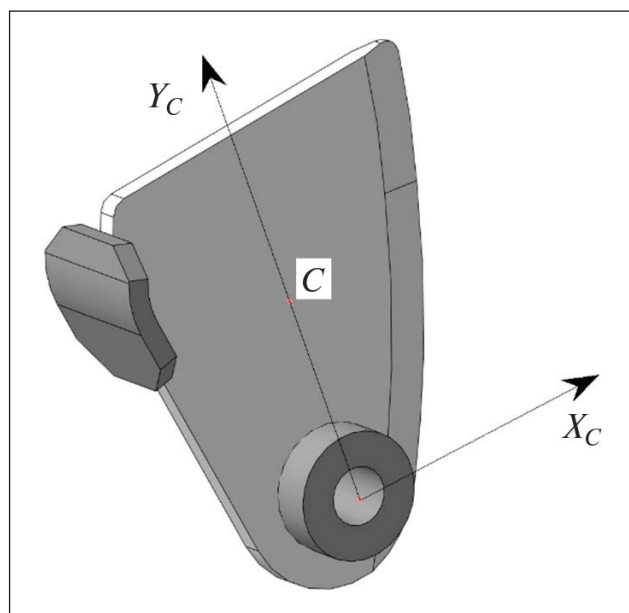


Рис. 3. 3D-модель измельчающего ножа.

Для нахождения координат X_C и Y_C центра тяжести C и момента инерции J измельчающего ножа была создана его 3D-модель в программе КОМПАС-3D (рис. 3).

Подставив выражения для моментов сил (11), (12) и (13) в неравенство (10) и допустив, что мощность, передаваемая на барабан, равномерно распределяется между его ножами, после преобразований получим выражение для силы сопротивления резанию T , вызывающей отклонение ножа в сторону, противоположную направлению вращения барабана:

$$T \geq \frac{1}{\sqrt{I_n^2 + 0,25b^2}} \left(f \frac{J\dot{\theta}^2}{R_0} r + \frac{N}{\dot{\theta}k} \right). \quad (14)$$

По результатам расчетов по выражению (14) построен график зависимости силы T от числа k ножей на барабане измельчителя (рис. 4), при анализе которого можно увидеть, что с увеличением числа k ножей в пределах конструктивной целесообразности с 28 до 42 сила сопротивления резанию T обрезков виноградных лоз снижается с 94,7 Н до 79,8 Н. Для оптимизации процесса измельчения установлено среднее значение силы сопротивления резанию $T=87...89$ Н, число ножей на барабане измельчителя в таком случае должно быть $k=32...34$. Для дальнейших исследований было принято значение T не более 89 Н, которому соответствует $k \geq 32$.

По приведенному графику (см. рис. 4) можно опре-

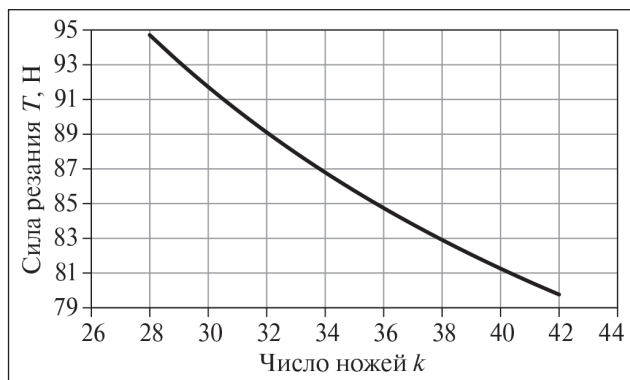


Рис. 4. График зависимости силы сопротивления резанию T от числа ножей k на барабане измельчителя.

делить оптимальное число ножей на барабане измельчителя, при котором они будут измельчать виноградные лозы, удовлетворяя условиям минимальной энергоёмкости процесса.

Выражение для кинетической энергии E_K вращающегося на барабане ножа имеет вид:

$$E_K = \frac{J_H \dot{\theta}^2}{2}, \quad (15)$$

где J_H – момент инерции ножа относительно оси вращения барабана измельчителя, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Момент инерции J_H ножа найдем по теореме Гюйгенса-Штейнера:

$$J_H = J + mr^2, \quad (16)$$

где m – масса ножа, кг.

В результате расчетов с использованием выражений (15) и (16) построен график зависимости кинетической энергии E_K вращающегося на барабане ножа от расстояния r от оси вращения O барабана до оси вращения O_1

ножа (рис. 5), согласно которому с увеличением расстояния r от оси вращения O барабана до оси вращения O_1 ножа в пределах конструктивной целесообразности с 0,05 м до 0,1 м кинетическая энергия ножа возрастает на 109 Дж.

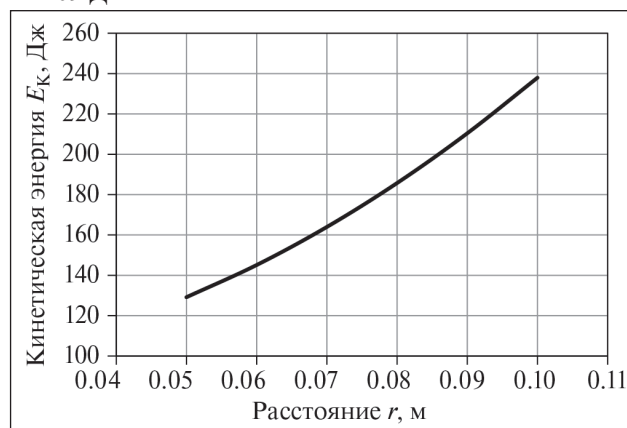


Рис. 5. График зависимости кинетической энергии E_K ножа от расстояния r .

Максимальное величина показателя работы разрушения резанием с ударом виноградной лозы диаметром 9,3 мм, определенное опытами на маятниковом копре, составляет $A=12,7$ Дж [8]. Считая, что при перерезании лозы вся кинетическая энергия E_K ножа затрачивается на работу разрушения A , можно определить, что при расстоянии от оси вращения O барабана до оси вращения O_1 ножа $r=0,05$ м он может осуществлять до 10 перерезаний лозы диаметром 9,3 мм за один оборот барабана, а при $r=0,1$ м – до 18 перерезаний (см. рис. 5).

В полевых испытаниях подборщика-измельчителя виноградной лозы были установлены следующие конструктивные параметры: радиус барабана ($R=0,52$ м), масса молотка ($m=0,5$ кг), длина молотка ($L=0,10$ м), количество молотков ($k=32$ шт.), количество противорезающих решеток (2 шт.), ширина захвата барабана (1,5 м).

Анализ результатов статистической оценки качества измельчения виноградной лозы показывает, что 90 % ее обрезков имеет длину от 4,5 см до 9,5 см, а среднеарифметическая величина этого показателя составила 7,8 см (рис. 6). Это соответствует параметрам карты требований к машине для подбора и измельчения обрезков лозы в междурядьях (табл. 1).

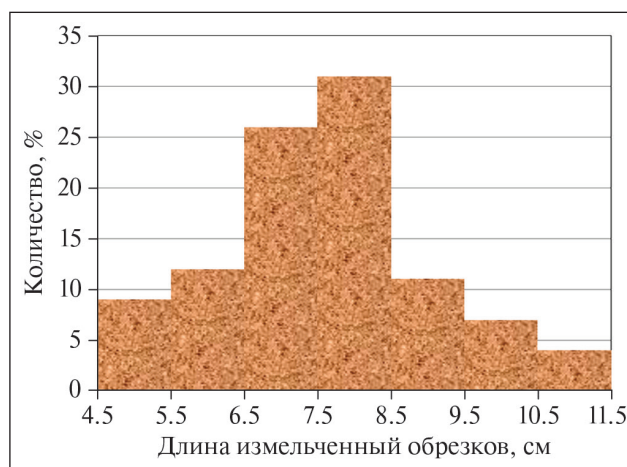


Рис. 6. Гистограмма распределения длины измельченных обрезков лозы.

Табл. 2. Показатели работы подборщика измельчителя виноградной лозы

Наименование	Значение
Частота оборотов вала подборщика	400 об/мин
Частота оборотов барабана измельчителя	2100 об/мин
Длина молотковидного ножа с лезвием по форме эксцентрической окружности, закрепленного шарнирно на барабане	0,15...0,18 м
Рекомендуемая скорость движения агрегата	4,3 км/ч
Производительность машины	1 га/ч
Энергоемкость технологического процесса, кВтЧ	57,8
Полнота подбора	95 %
Средняя длина измельченных обрезков	8,0 см
Технологический просвет для бил подборщика	30...60 мм
Технологический просвет для ножей измельчителя	150...200 мм

В ходе экспериментальных исследований макетного образца подборщика-измельчителя виноградной лозы в условиях ООО «Кроненталь» установлено, что средняя длина измельченных обрезков в междурядьях шириной 3 м составила 80 мм при полноте подбора лозы 95 %. При отработке режимных технико-технологических параметров (табл. 2) макетного образца машины, благодаря форме режущих элементов ножей, противорезов и серповидных пилонов установлено снижение энергоемкости процесса измельчения в 1,1 раза, по сравнению с ранее разработанными требованиями (см. табл. 1).

Кроме того, благодаря использованию в измельчающем устройстве лопаток с цилиндрической формой поверхности, увеличивающих пропускную способность машины, ее производительность увеличилась в 1,4 раза.

Выводы. В результате теоретических исследований процесса измельчения виноградной лозы подборщиком-измельчителем установлена длина молотковидного ножа ($l_n = 0,15...0,18$ м) с лезвием по форме эксцентрической окружности, закрепленного шарнирно на барабане, обеспечивающего измельчение обрезков виноградной лозы с ударом, что снижает энергоемкость технологической операции.

Рациональное число ножей на барабане исследуемого экспериментального образца измельчителя, при котором обеспечивается условие минимальной энергоемкости процесса измельчения виноградных лоз, по результатам теоретических расчетов $k \geq 32$. Установлена зависимость кинетической энергии ножа от расстояния от оси вращения барабана до оси вращения ножа, которую целесообразно использовать при выборе режимов работы измельчающего узла подборщика-измельчителя виноградной лозы.

В производственных испытаниях макетного образца подборщика-измельчителя подготовленного к работе с учетом установленных технических и режимных параметров узла были получены результаты, удовлетворяющие агротехническим требованиям: средняя длина измельченных обрезков в междурядьях шириной 3 м – 80 мм, полнота подбора лозы – 95 %.

Производительность машины увеличилась в 1,4 раза, а энергоемкость процесса измельчения снизилась в 1,1 раза.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Всероссийского национального научно-исследовательского института виноградарства и виноделия «Магарах» РАН.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Анхудов Т. М., Апажев А. К., Шекихачев Ю. А. Математическое моделирование процесса измельчения плодовых ветвей роторным измельчителем // *Техника и оборудование для села*. 2019. № 9(267). С. 21–24. doi: 10.33267/2072-9642-2019-9-21-24.
2. Брагинцев С. В., Бахчевников О. Н., Алферов А. С. Теоретические исследования измельчителя стебельчатых кормов // *Инженерные технологии и системы*. 2021. Том 31, № 4. С. 591–608.
3. Гулевский В. А., Вертий А. А. Усовершенствование технологии измельчения грубых стебельчатых кормов измельчителем с шарнирно подвешенными комбинированными ножами // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2019. Т. 12. № 1. С. 73–81. doi: 10.17238/issn2071-2243.2019.1.73.
4. Гулевский В. А., Вертий А. А. Математическое моделирование работы измельчителя кормов // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2018. № 3. С. 120–128. doi: 10.17238/issn2071-2243.2018.3.120.
5. Скориков Н. А., Бейбулатов М. Р., Мишунова Л. А. Эколого-экономические и агрономические аспекты утилизации обрезков виноградной лозы // *Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Экономика и управление*. 2016. Т. 2(68). № 2. С. 123–131.
6. Модернизация подборщика-измельчителя виноградной лозы / В. П. Горобей, С. С. Старчиков, Н. А. Скориков и др. // *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*. 2022. № 29 (192). С. 147–158.
7. Резник Н. Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. М.: Машиностроение, 1975. 311 с.
8. Бейбулатов М. Р., Скориков Н. А., Соболевский И. В. Характеристика и физико-механические свойства виноградной лозы // *Виноградарство и виноделие. Сб. научн. тр. НИИВиВ «Магарах»*. 2007. № 37. С. 55–59.

Поступила в редакцию 10.02.2025

После доработки 03.04.2025

Принята к публикации 27.04.2025