

Научная статья

УДК 634.1-13

doi: 10.55196/2411-3492-2022-4-38-87-97

Обоснование основных конструктивных и технологических параметров двухвалкового роторного измельчителя

Владимир Исмелович Батыров¹, Тимур Муаедович Апхудов^{✉2}

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова, проспект
Ленина, 1в, Нальчик, Россия, 360030

¹batyrov.53@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2183-4058>

^{✉2}aphudov75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9304-1324>

Аннотация. Регулярно проводимая обрезка плодовых деревьев является существенной предпосылкой повышения урожайности и качества плодов. В то же время отходы фитомассы при обрезке плодовых деревьев, в зависимости от возраста и биологических особенностей сорта, могут составлять от 3 до 20 и более тонн на гектар. Отчуждаемая древесина при обрезке плодовых деревьев свлаживается за пределы сада, сжигается или сбрасывается в овраги. Уборка и утилизация срезаемого древесного материала в садах являются обязательными операциями технологического процесса производства плодов. В то же время они сопряжены с большими материальными и трудовыми затратами, вызванными низким уровнем механизации и малой эффективностью используемых технологий. Особую сложность представляет утилизация древесных отходов на склоновых землях при террасном садоводстве. Поэтому проблема утилизации и рационального использования отчуждаемой плодовой древесины является актуальной. Наиболее простым, рациональным и перспективным является использование срезанных ветвей в измельченном виде для мульчирования почвы. Это способствует накоплению и сохранению влаги в почве, обогащению ее органическим веществом, элементами минерального питания, улучшению агрофизических свойств и в конечном итоге вовлечению отчуждаемой древесины в круговорот веществ без ущерба для экологии. В статье на основании сравнительного многокритериального (затраты труда, расход топлива, приведенные эксплуатационные расходы и влияние на окружающую среду) анализа существующих технологий утилизации ветвей доказана целесообразность применения технологического процесса измельчения ветвей с последующим разбрасыванием измельченной древесной массы по поверхности почвы. Установлены основные конструктивно-технологические параметры и режимы работы двухвалкового роторного измельчителя: углы заточки передней ($-5-15^\circ$) и задней ($60-70^\circ$) граней ножа; радиус вращения режущей кромки ножа: 0,125 м; скорость подачи ветвей (1,4-2,1 м/с); окружная скорость режущей кромки ножа (8-12 м/с).

Ключевые слова: древесная мульча, двухвалковый роторный измельчитель, скорость резания, результат, теоретические и экспериментальные исследования

Для цитирования. Батыров В. И., Апхудов Т. М. Обоснование основных конструктивных и технологических параметров двухвалкового роторного измельчителя // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2022. № 4(38). С. 87–97.

doi: 10.55196/2411-3492-2022-4-38-87-97

Original article

Justification of the main structural and technological parameters of the twin-roll rotary grinder

Vladimir I. Batyrov¹, Timur M. Apkhudov^{✉2}

Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, 1v Lenin Avenue, Nalchik,
Russia, 360030

¹batyrov.53@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2183-4058>

^{✉2}aphudov75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9304-1324>

Abstract. Regular pruning of fruit trees is an essential prerequisite for increasing the yield and quality of fruits. At the same time, phytomass waste during pruning of fruit trees, depending on the age and biological characteristics of the variety, can range from 3 to 20 or more tons per hectare. Alienated wood when pruning fruit trees is dragged outside the garden, burned or dumped into ravines. Harvesting and disposal of cut woody material in orchards are mandatory operations in the technological process of fruit production. At the same time, they are associated with high material and labor costs due to the low level of mechanization and the low efficiency of the technologies used. Of particular difficulty is the utilization of wood waste on sloping lands in terraced gardening. Therefore, the problem of utilization and rational use of alienated fruit wood is relevant. The most simple, rational and promising is the use of cut branches in crushed form for soil mulching. This contributes to the accumulation and conservation of moisture in the soil, its enrichment with organic matter, mineral nutrition elements, improvement of agrophysical properties and, ultimately, the involvement of alienated wood in the cycle of substances without harming the environment. In the article, based on a comparative multi-criteria (labor costs, fuel consumption, given operating costs and environmental impact) of the analysis of existing technologies for the utilization of branches, the feasibility of using the technological process of chopping branches with subsequent spreading of chopped wood pulp over the soil surface has been proved. The main design and technological parameters and operating modes of a two-roll rotary grinder are established: sharpening angles of the front ($-5-15^\circ$) and rear ($60-70^\circ$) edges of the knife; radius of rotation of the cutting edge of the knife: 0.125 m; branches feed rate (1.4-2.1 m/s); circumferential speed of the cutting edge of the knife (8-12 m/s).

Keywords: wood mulch, two-roll rotary grinder, cutting speed, result, theoretical and experimental investigations

For citation. Batyrov V.I., Apkhudov T.M. Justification of the main design and technological parameters of a two-roll rotary grinder. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2022;4(38):87–97. (In Russ.). doi: 10.55196/2411-3492-2022-4-38-87-97

Введение. Плодоводство – отрасль сельскохозяйственного производства. Основным объектом исследования в этой области являются культуры, выращиваемые для производства плодов, ягод и орехов многолетних деревьев и кустарников. Плодоводство как отдельная наука изучает закономерности получения богатого качественного продукта, выявляя способы выращивания, развития, воспроизводства, производства и агротехнического ухода за плодовыми культурами [1].

О важности фруктов, их пользе, особенно пищевых, лечебных и диетических свойствах человек знал давно. Искусственные или обработанные фрукты веками использовались в пищевой и народной медицине.

Это не только продукты питания с важнейшими лечебными свойствами, но и незаменимое сырье в пищевой промышленности, одна из санитарно-гигиенических мер по защите окружающей среды. Их культивируют не только фермерские хозяйства, но и частные лица. Сады и коттеджи защищают город и деревню от ветра и пыли, их листья поглощают углекислый газ, дают тень населению и не сушат землю, улучшая тем самым экологию.

Сады украшают поселения и влияют на эстетическое восприятие людей. Посадка и уход за садом также лелеют и лечат людей, приближая их к природе. Его значение в последние годы растет. В настоящее время многократно увеличилось рост гражданской энергетики, транспортных, агрономических, гидротехнических сооружений, темпы роста человека, их влияние на окружающую среду, компенсация вредных явлений, вызванных природой. Также окружающая среда загрязнена вредными отходами, канцерогенами.

Загрязнение радиоактивными веществами отрицательно сказывается на здоровье человека. Следовательно, в процессе общественного производства земля, воздух, вода и т. д. плодовые культуры играют важную роль в поддержании экологического баланса окружающей среды и правильной организации питания человека. Фактически наши предки – первые люди в своей повседневной жизни, собирающие фрукты. Плоды и ягоды помимо полезных веществ содержат витамины А, В₂, В₆, С, РР и др., вещества с высокой индивидуальной биологической активностью, их сочетание с пектинами предотвращает или

ускоряет проникновение вредных частиц в организм человека.

Подавляющее большинство сахаров во фруктах и ягодах – это глюкоза и фруктоза. Фруктовый сахар участвует в ускорении энергетических процессов в организме человека, то есть предотвращает атеросклероз и повышенное артериальное давление (гипертонию). То есть людям полезно употреблять большое количество фруктов. Плоды также содержат различные макро- и микроэлементы (железо, фосфор, магний, калий, йод, марганец, селен и др.). Железо часто влияет на оптимальный баланс натрия и калия. Например, это одна из мер профилактики этих заболеваний. Железо, содержащееся во фруктах, стабилизирует кровообращение в организме. Фрукты и орехи широко используются при переработке кулинарных изделий, в пищевой, консервной, кондитерской и витаминной промышленности.

Некоторые семена плодовых культур (подсолнечника, грецкого ореха и цитрусовых) хранятся искусственно длительное время, причем зимой и ранней весной, когда в организме человека не хватает витаминов, биологически активных веществ, необходимых витаминов и т. д. восполняют полезные вещества.

Ресурсосбережение и, в частности, уменьшение трудоемкости производства продукции является одним из приоритетных факторов повышения эффективности плодородческой отрасли. Низкий уровень механизации (25-35%) приводит к затягиванию сроков выполнения технологических операций и, как следствие, к значительному недобору товарной продукции, снижению качества и увеличению ее себестоимости [2].

Проблема экологической безопасности наряду с безотходными технологиями с каждым годом становится более актуальной. К таким, в частности, и относится проблема утилизации ветвей плодовых деревьев, срезанных в садах интенсивного типа с уплотненной схемой посадки. При уходе за кроной плодовых деревьев с каждого гектара уплотненных садов ежегодно срезается в среднем от 2,5 до 6,5 тонны древесины в зависимости от возраста деревьев, вида подвоя, сорта, породы, схемы посадки, типа обрезки. Трудоемкость операций по обрезке, сбору и утилизации ветвей по литературным данным со-

ставляет 15-26% общих трудозатрат на выращивание плодов. Расходы труда на обрезку веток в саду и последующую их утилизацию достигают 220 чел.-ч/га в год.

Особенностью современного развития мирового садоводства является внедрение в производство интенсивных садов уплотненного типа, где, по сравнению с традиционными садами, уменьшены габариты деревьев, что привело к увеличению их количества на единицы площади в 5-8 раз и уменьшению диаметра ветвей, которые срезаются при уходе за кроной деревьев [1, 3]. Это создает более удобные условия и уменьшает энергозатраты при измельчении древесины при утилизации. В связи с этим актуальны исследования, направленные на обоснование технологической схемы и параметров рабочих органов устройства для измельчения ветвей.

Цель исследования – оптимизация конструктивно-технологических параметров измельчителя.

Материалы, методы и объекты исследования. Предмет исследования – процесс измельчения срезанных ветвей плодовых деревьев двухвалковым роторным измельчителем (ДРИ) в древесную мульчу. Исследования проведены с использованием аналитических и статистических методов, методов математического моделирования и теории математического планирования эксперимента. Объекты исследования – срезанные ветви плодовых деревьев, полученная из них измельченная масса – древесная мульча, ДРИ.

Результаты исследования. Обрезка плодового дерева – это регулирование всех или части всех его элементов (побегов, ветвей, веток, мест формирования плодов). Основная цель обрезки заключается в формировании головок деревьев, регулировании роста побегов и плодоношения. Поэтому очевидно, что их правильное управление является одной из важнейших агротехнических мер, но не может заменить другие методы ухода за деревьями (полив, внесение удобрений и т. д.) [4]. Неправильно проведенная обрезка будет неэффективной, а иногда может быть даже вредной. Правильная обрезка деревьев учитывает биологические особенности различных сортов, закономерности роста, структуру, плодоношение плодовых растений и влияние обрезки на деревья [5].

Сравнительный многокритериальный анализ существующих технологий утилизации ветвей с помощью четырех критериев: затраты труда, расход топлива, приведенные эксплуатационные расходы и влияние на окружающую среду свидетельствует о целесообразности применения технологического процесса измельчения ветвей с разбрасыванием по поверхности почвы.

Как свидетельствует проведенный анализ, результаты этих исследований не могут быть непосредственно использованы для расчета рациональных параметров двухвалковых измельчителей, предназначенных для утилизации плодовых деревьев. Это обусловлено отличием физико-механических свойств материалов и конструктивно-технологическими особенностями соответствующих измельчителей.

Обзор известных технологий утилизации срезанных ветвей, анализ существующих исследований по измельчению ветвей плодовых деревьев, лозы винограда и других стеблевых материалов позволяет сделать вывод о недостаточности в информационных источниках данных [6].

В связи с этим возникает необходимость в проведении исследования процесса измельчения ветвей плодовых деревьев с разработкой рабочих органов соответствующего устройства, обосновании рациональных параметров и режимов работы двухвалкового измельчителя [5, 7]. Проведенная многофакторная комплексная технико-экономическая оценка существующих технических средств для измельчения ветвей плодовых деревьев в садах интенсивного типа позволила установить целесообразность применения двухроторных измельчителей.

В результате проведенного [8] кинематического и силового анализа процесса работы ДРИ установлены параметры, которые влияют на усилие резания древесины ветвей: геометрические размеры роторов, количество ножей на ножевом диске, углы заточки ножей, скорость вращения роторов, скорость подачи ветвей и зазор между ножом и валом противоположенного ротора.

Учитывая, что максимальный диаметр измельчаемых ветвей составляет 35-40 мм и

что необходимо обеспечить требуемую жесткость полого вала ротора, диаметр ножевого диска рекомендуется принимать в пределах 150-250 мм [3].

Угловую скорость вращения ножевого диска (рад/с) можно рассчитать по выражению:

$$\omega = 2\pi n, \quad (1)$$

где:

n – частота вращения ножевого диска, с^{-1} .

С учетом выражения (1) скорость измельчения будет равна:

$$v_{изм} = 2\pi R n. \quad (2)$$

При известном значении длины резания ветви можно установить средний диаметр ветви при резании по выражению:

$$d_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^N d(l_i)}{N}, \quad (3)$$

где:

$d(l_i)$ – диаметр ветви в i -м сечении ветви, м;

$l_i = l_{расч} \cdot i$ – расстояние i -го сечения резания от вершины ветви, м;

$N = l_v / l_{расч}$ – количество резов ветви длиной l_v .

Рекомендуемая длина резания ветви по агротехническим соображениям $l_{расч} = 0,07$ м.

Тогда по выражению (3) можно вычислить средний диаметр ветви при резании. Его величина в зависимости от сорта для яблони составляет 10-15 мм. Примем для расчетов средний диаметр измельчаемой ветви $d_{cp} = 15$ мм.

Производительность двухвалкового роторного измельчителя плодовой древесины определяется числом ножей z на диске, размерами перерабатываемого слоя ветвей и длиной измельченных частиц $l_{изм}$. Для ее определения рекомендована формула, в $\text{м}^3/\text{ч}$:

$$Q = F_p v_n \cdot 3600 = F_p \frac{n \cdot z \cdot l_{изм}}{60} \cdot 3600 = 60 F_p \cdot n \cdot z \cdot l_{изм}, \quad (4)$$

где:

F_p – расчетная площадь перерабатываемого слоя ветвей, м^2 .

Площадь резания рассчитывается по зависимости:

$$F_p = B \cdot H_e \cdot k_{dp}, \quad (5)$$

где:

B – длина ротора измельчителя, м;

H_e – толщина перерабатываемого слоя ветвей в сжатом состоянии, м;

k_{dp} – коэффициент полнодревесности измельчаемого слоя ветвей.

По конструктивным и эксплуатационным соображениям оптимальным является количество ножей, равное 2; передний угол заточки ножа δ_n рекомендуется в пределах $-5-15^\circ$; частота вращения ротора варьируется в пределах $10-15 \text{ с}^{-1}$; скорость подачи ветвей может принимать значения $v_n = 1,4-2,1 \text{ м/с}$; скорость движения агрегата $v_a = 0,8-1,5 \text{ м/с}$, или $2,88-5,4 \text{ км/ч}$; пределы варьирования окружной скорости режущей кромки ножа $v_o = 8-12 \text{ м/с}$.

Мощность привода измельчительного устройства можно рассчитать по выражению:

$$N = \frac{N_{nod} + N_1 + N_2}{\eta_m}, \quad (6)$$

где:

N_{nod} – мощность, затрачиваемая на подачу подобранного вала срезанных ветвей к первой ступени измельчителя, кВт;

N_1 – мощность, затрачиваемая на перерезание ветвей на первой ступени измельчителя – двухвалковом роторном измельчителе, кВт;

N_2 – мощность, затрачиваемая на перетирающее доизмельчение на второй ступени измельчителя, кВт;

η_m – суммарный К.П.Д. механизмов привода.

Мощность, затрачиваемая на подачу вала срезанных ветвей, определяется по формуле:

$$N_{nod} = k_{yd} B_{n.e} v_n, \quad (7)$$

где:

k_{yd} – коэффициент удельной силы сопротивления подающих вальцов, Н/мм;

$B_{n.e}$ – ширина подающего вальца, мм.

Мощность, затрачиваемая на перерезание ветвей, определяется по формуле:

$$N_1 = P_{cp1} v_{o1}, \quad (8)$$

где:

P_{cp1} – среднее окружное усилие, Н;

v_{o1} – окружная скорость резания, м/с.

Среднее окружное усилие P_{cp1} рассчитывается по формуле:

$$P_{cp1} = \frac{A_{рез} n_o}{2\pi R}, \quad (9)$$

где:

$A_{рез}$ – работа сил резания за время одного оборота ножевого диска, Дж;

$2\pi R$ – длина траектории одного оборота ножевого диска, м;

n_o – количество ножевых дисков измельчителя, шт.

Мощность, затрачиваемая на доизмельчение массы:

$$N_2 = P_{cp2} v_{o2}, \quad (10)$$

где:

P_{cp2} – среднее окружное усилие доизмельчающих вальцов, Н;

v_{o2} – окружная скорость доизмельчающих вальцов, м/с.

В результате экспериментов установлено, что суммарная величина составляющих мощности N_{nod} и N_2 составляет 15-20% общей затрачиваемой мощности привода.

Полезный удельный расход энергии определяем по формуле:

$$E = \frac{N}{Q}. \quad (11)$$

На рис. 1 показаны диаграммы удельной и полной силы резания. Для численной характеристики диаграмм выбраны два параметра: среднее значение – это P_{ydcp} и $P_{резcp}$, и максимальное значение – P_{ydm} и $P_{резm}$.

Влияние на силу резания углов заточки ножей по передней δ_n и задней δ_3 граням определялось в диапазоне от минимальной величины угла, принятой из условия запаса прочности лезвия на изгиб:

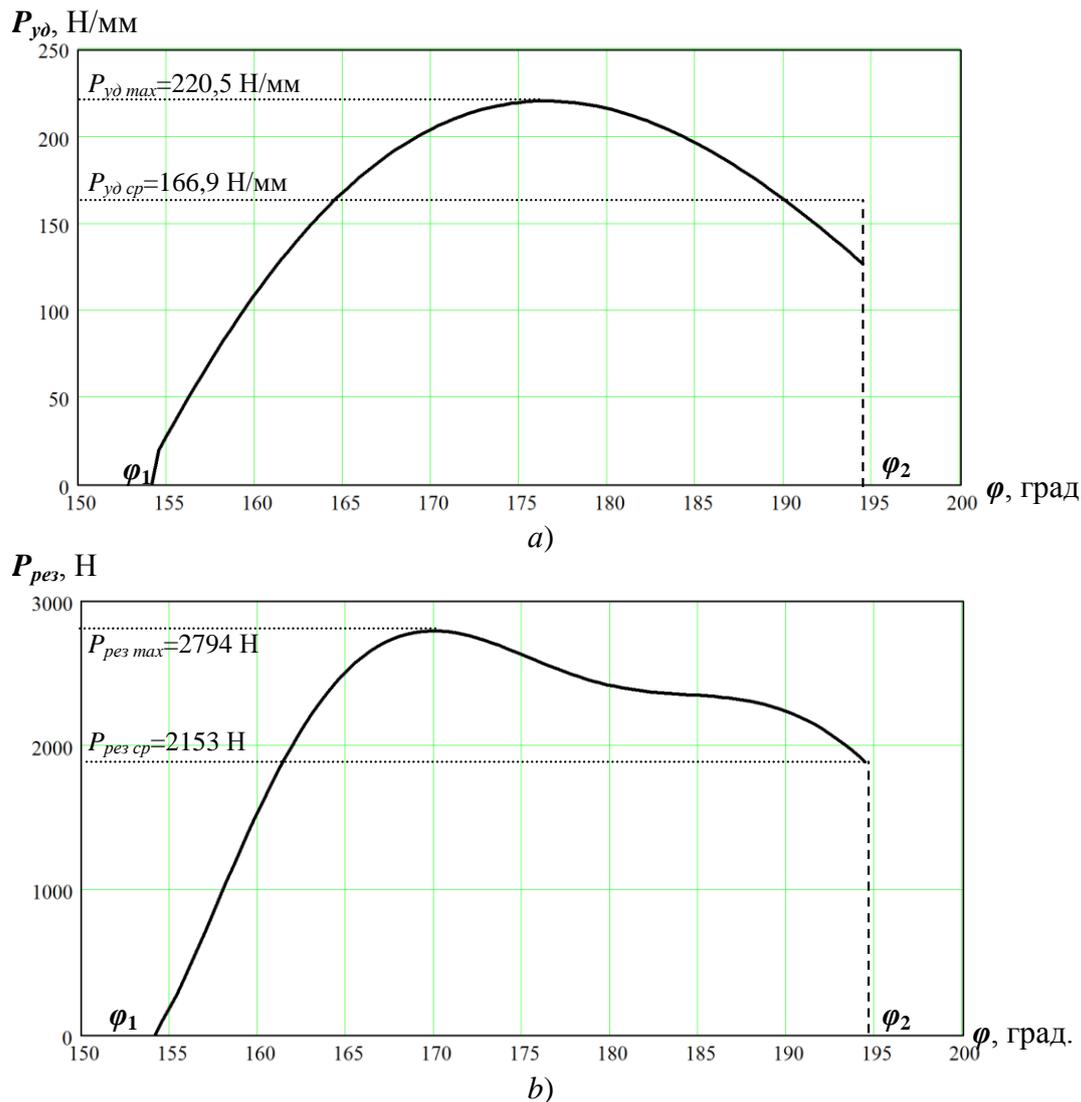


Рисунок 1. Диаграммы зависимости удельной и полной сил резания в зависимости от угла поворота режущей кромки φ :

a) удельной силы резания $P_{y\delta}$; b) полной силы резания $P_{\text{рез}}$

Figure 1. Diagrams of the dependence of the specific and total cutting forces depending on the angle of rotation of the cutting edge φ :

a) specific cutting force $P_{y\delta}$; b) total cutting force $P_{\text{рез}}$

$$\gamma = \delta_n + \delta_s. \quad (12)$$

Анализ показывает, что целесообразно угол γ делать минимальным, вплоть до нулевого значения.

Функция коэффициента изнашивания ножа в зависимости от угла заточки имеет вид:

$$k_i(\gamma) = \frac{1 - \sin \frac{\gamma}{2}}{3 \sin \frac{\gamma}{2}} - \sqrt{3} \text{ctg}^2 \frac{\gamma}{2} \sqrt{\frac{1 + \sin \frac{\gamma}{2}}{\sin \frac{\gamma}{2}}}. \quad (13)$$

Из рисунка 2 следует, что оптимальный угол заточки ножа желательно принимать в диапазоне $50-60^\circ$. Тогда если принять величину переднего угла -10° , то ему будет соответствовать величина заднего угла заточки $60-70^\circ$ (табл. 1).

Результаты численных расчетов силы резания ветви в зависимости от радиуса вращения режущей кромки ножа R представлены в таблице 2. Анализ показал, что можно принять $R = 0,125 \text{ м}$.

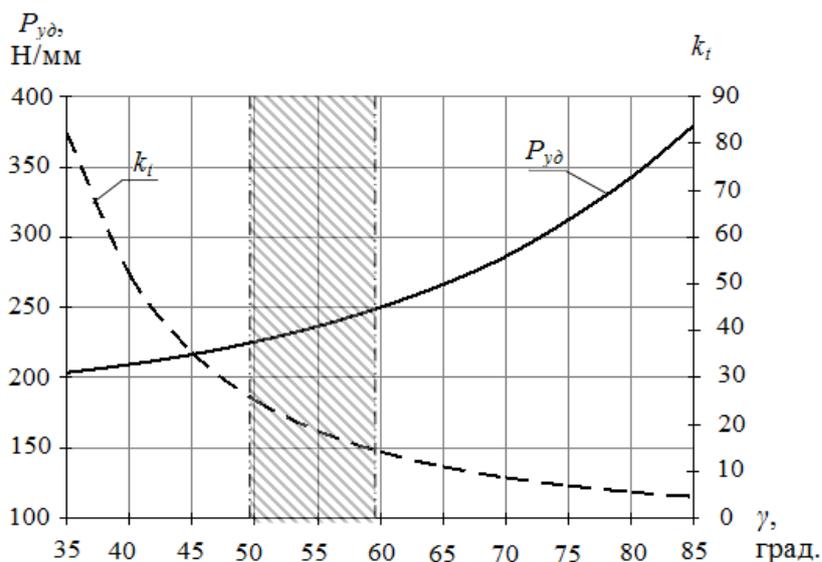


Рисунок 2. Зависимость удельной силы резания $P_{y\partial}$ и коэффициента изнашивания ножа k_t от угла заточки γ

Figure 2. Dependence of the specific cutting force $P_{y\partial}$ and the knife wear coefficient k_t on the sharpening angle γ

Таблица 1. Результаты численных расчетов удельной силы резания $P_{y\partial}$ (Н/мм) в зависимости от углов заточки передней δ_n и задней δ_s граней ножа

Table 1. Results of numerical calculations of the specific cutting force $P_{y\partial}$ (N/mm) depending on the sharpening angles of the front δ_n and back δ_s edges of the knife

Задний угол δ_s , град	Передний угол δ_n , град					
	-5	-10	-15	-20	-25	-30
35	154,6	152,1	149,0	145,4	141,2	136,3
40	163,2	160,7	157,5	153,9	149,6	144,8
45	173,9	171,3	168,2	164,4	160,2	155,3
50	187,1	184,5	181,3	177,6	173,3	168,5
55	203,4	200,8	197,6	193,8	189,5	184,7
60	223,2	220,5	217,3	213,6	209,3	204,4
65	247,1	244,5	241,3	237,5	233,2	228,4
70	256,4	253,8	250,6	246,9	242,6	237,8
75	304,8	302,3	299,2	295,5	291,3	286,4
80	356,1	346,8	340,8	337,3	333,1	328,3
85	411,3	411,1	410,9	410,6	410,4	410,1

Примечание. При расчетах приняты постоянными следующие значения остальных параметров математической модели: $d_g = 0,015$ м; $R = 0,125$ м; $v_n = 1,4$ м/с; $v_o = 10$ м/с.

Таблица 2. Результаты численных расчетов силы резания ветви среднего диаметра в зависимости от радиуса вращения режущей кромки
Table 2. Results of numerical calculations of the cutting force of a branch of average diameter depending on the radius of rotation of the cutting edge

Значение радиуса вращения режущей кромки ножа, м	Среднее значение расчетной силы резания ветви, Н	Максимальное значение расчетной силы резания, Н
0,105	2123	2816
0,115	2143	2806
0,125	2156	2798
0,135	2164	2790
0,145	2169	2783
0,155	2172	2776

Примечание. При расчетах приняты постоянными следующие значения остальных параметров математической модели: $d_g = 0,015$ м; $s = 0,0025$ м; $v_n = 1,4$ м/с; $v_o = 10$ м/с; $\delta_n = -10^\circ$; $\delta_s = 60^\circ$.

Согласно анализу статистических данных, минимальный диаметр ветки составляет 4-5 мм. Тогда $s_{\min} = 0,001$ м.

Результаты численных расчетов силы резания ветви в зависимости от величины зазора между кромкой ножа и валом противополо-

ложного ротора представлены в таблице 3 и на рисунке 3.

При максимальном значении скорости подачи ветвей и минимальной окружной скорости режущей кромки ножа имеет место минимальная энергоемкость резания.

Таблица 3. Результаты численных расчетов силы резания ветви в зависимости от величины зазора между кромкой ножа и валом противоположного ротора
Table 3. Results of numerical calculations of the cutting force of the branch depending on the size of the gap between the edge of the knife and the shaft of the opposite rotor

Зазор между кромкой ножа и валом противоположного ротора s , м	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005
Среднее значение расчетной удельной силы резания ветви, Н/мм	185,7	173,5	161,4	149,2	137,1
Максимальное значение расчетной удельной силы резания, Н/мм	244,3	228,4	212,6	196,9	181,2
Среднее значение расчетной силы резания ветви, Н	2036,8	2148	2152	2085,8	1969
Максимальное значение расчетной силы резания, Н	2858,3	2818	2766	2696,3	2593

Примечание. При расчетах приняты постоянными следующие значения остальных параметров математической модели: $d_g = 0,015$ м; $s = 0,0025$ м; $v_n = 1,4$ м/с; $v_o = 10$ м/с; $\delta_n = -10^\circ$; $\delta_s = 60^\circ$.

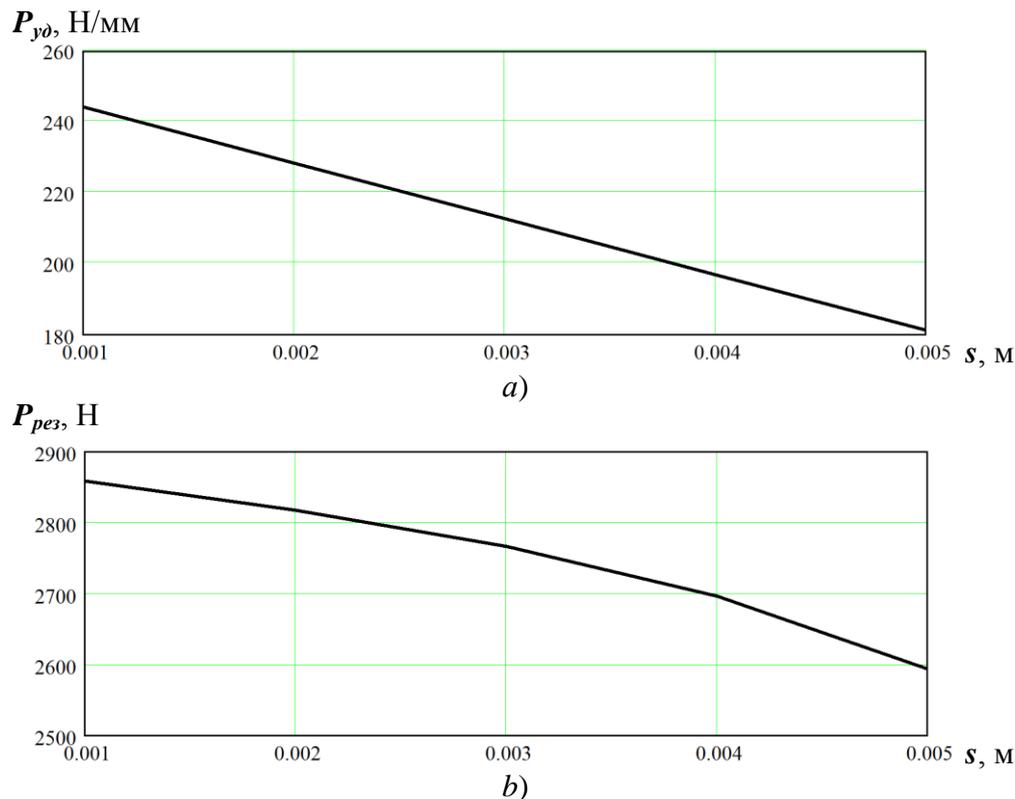


Рисунок 3. Графики зависимости сил резания от величины зазора между кромкой ножа и валом противоположного ротора:

a) максимальной удельной силы резания $P_{уд}$; b) максимальной полной силы резания $P_{рез}$

Figure 3. Graphs of dependence of cutting forces on the size of the gap between the edge of the knife and the shaft of the opposite rotor:

a) maximum specific cutting force $P_{уд}$; b) maximum total cutting force $P_{рез}$

Выводы. Сравнительный многокритериальный анализ существующих технологий утилизации ветвей с помощью четырех критериев (затраты труда, расход топлива, приведенные эксплуатационные расходы и влияние на окружающую среду) свидетельствует о целесообразности применения технологического процесса измельчения ветвей с разбрасыванием по поверхности почвы.

Определены основные конструктивно-технологические параметры двухвалкового роторного измельчителя, устанавливающие зависимость показателей его работы. Проведены численные расчеты на ЭВМ, в результате чего рекомендованы следующие значения основных параметров и режимов работы ДРИ: $\delta_n = -5-15^\circ$, $\delta_s = 60-70^\circ$; $R = 0,125$ м; $v_n = 1,4-2,1$ м/с, $v_o = 8-12$ м/с.

Список литературы

1. Шекихачев Ю. А. Научно обоснованные рекомендации по организации и технологии закладки садов // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2021. № 2(32). С. 95–101.
2. Балкаров Р. А., Заммоев А. У. Утилизация древесины срезанных ветвей плодовых деревьев в горном и предгорном садоводстве // Материалы региональной научной конференции молодых ученых Горского государственного аграрного университета «Экология южного региона». Владикавказ: ГГАУ, 2002. С. 105–107.

3. Апхудов Т. М., Шекихачев Ю. А., Шекихачева Л. З., Джолабов Ю. Ш. Сравнительная характеристика способов резания древесины // *Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции «Новые вопросы в современной науке»*. 2017. С. 20–23.
4. Апхудов Т. М. Механизированная обрезка ветвей плодовых деревьев диаметром до 100 мм с применением садовой электропилы ЭПС-2 // *Сборник научных трудов VII Всероссийской научно-практической конференции «Инженерное обеспечение инновационного развития агропромышленного комплекса России»*. 2018. С. 22–26.
5. Апхудов Т. М., Апажев А. К., Шекихачев Ю. А. Обоснование основных конструктивных и технологических параметров измельчителя ветвей плодовых деревьев // *Международный технико-экономический журнал*. 2019. № 4. С. 15–19.
6. Апхудов Т. М., Шекихачев Ю. А. Разработка и исследование садовой пилы с электрическим приводом // *АгроЭкоИнфо*. 2020. № 1(39). Ст. 15.
7. Шوماхов Л. А., Балкаров Р. А., Бекалдиев З. С., Заммоев А. У. Ресурсосберегающие машинные технологии возделывания плодовых культур для получения высококачественных плодов в условиях почвозащитного адаптивно-ландшафтного горного и предгорного садоводства: рекомендации. Нальчик: КБГСХА, 2004. 76 с.
8. Балкаров Р. А., Чеченов М. М., Балкаров А. Р. Результаты исследований накопления срезанной плодовой древесины в интенсивных садах КБР // *Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова*. 2020. № 4(30). С. 59–64.

References

1. Shekikhachev Yu.A. Scientifically based recommendations for organization and technology of laying gardens. *Izvestiya of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2021;2(32):95–101. (In Russ.)
2. Balkarov R.A., Zammoev A.U. Utilization of wood of cut branches of fruit trees in mountain and foothill gardening. *Materialy regionalnoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh Gorskogo gosudarstvennogo agrouniversiteta «Ekologiya yuzhnogo regiona»* [Material Regional Scientific conference young of the Gorsky State Agro University "Ecology of the southern region"]. Vladikavkaz: GGAU, 2002. P. 105–107. (In Russ.)
3. Apkhudov T.M., Shekikhachev Yu.A., Shekikhacheva L.Z., Dzholabov Yu.Sh. Comparative characteristics of wood cutting methods. *Materialy Mezhdunarodnoy (zaochnoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii «Novyyevoprosy v sovremennoynauke»* [Materials of the International (on-line) scientific-practical conference "New questions in modern science"]. 2017. Pp. 20–23. (In Russ.)
4. Apkhudov T.M. Mechanized pruning of branches of fruit trees with a diameter of up to 100 mm using a garden electric saw EPS-2. *Sbornik nauchnykh trudov VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Inzhenernoye obespecheniye innovatsionnogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa Rossii»* [Engineering support for the innovative development of the agro-industrial complex of Russia]. *Collection of scientific papers of the VII All-Russian scientific and practical conference*. 2018. Pp. 22–26. (In Russ.)
5. Apkhudov T.M., Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A. Justification of the key design and process parameters of the grinder of branches of fruit-trees. *International Technical and Economic Journal*. 2019;(4):15–19. (In Russ.)
6. Apkhudov T.M., Shekikhachev Yu.A. Development and research of an electrically driven garden saw. *AgroEkoInfo*. 2020;1(39):15. (In Russ.)
7. Shomakhov L.A., Balkarov R.A., Bekaldiev Z.S., Zammoev A.U. *Resursosberegayushchiye mashinnyye tekhnologii vozdeleyvaniya plodovykh kul'tur dlya polucheniya vysokokachestvennykh plodov v usloviyakh pochvozashchitnogo adaptivno-landshaftnogo gornogo i predgornogo sadovodstva* [Resource-saving machine technologies for the cultivation of fruit crops to obtain high-quality fruits in soil-protective adaptive-landscape mountain and foothill gardening]: rekomendatsii. Nal'chik: KBGSKHA, 2004. 76 p.
8. Balkarov R.A., Chechenov M.M., Balkarov A.R. Results of studies on accumulation of cut fruit wood in intensive gardens of KBR. *Izvestiya of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2020. № 4(30):59–64. (In Russ.)

Сведения об авторах

Батыров Владимир Исмелович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технического обслуживания и ремонта машин в АПК, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 1074-2232, Author ID: 270325, Scopus ID: 57214136440

Апхудов Тимур Муаедович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технического обслуживания и ремонта машин в АПК, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 7421-4358, Author ID: 261675, Scopus ID: 57219057974

Information about the authors

Vladimir I. Batyrov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technical Maintenance and Repair of Machines in the Agroindustrial Complex, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 1074-2232, Author ID: 270325, Scopus ID: 57214136440

Timur M. Apkhudov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technical Maintenance and Repair of Machines in the Agroindustrial Complex, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 7421-4358, Author ID: 261675, Scopus ID: 57219057974

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

*Статья поступила в редакцию 28.10.2022;
одобрена после рецензирования 17.11.2022;
принята к публикации 23.11.2022.*

*The article was submitted 28.10.2022;
approved after reviewing 17.11.2022;
accepted for publication 23.11.2022.*