

Научная статья

УДК 631.363.2:636.085.622

doi: 10.55196/2411-3492-2023-2-40-114-121

Энергоемкость процесса измельчения срезанных ветвей плодовых деревьев двухвалковым роторным измельчителем

Луан Мухажевич Хажметов^{✉1}, Вячеслав Барасбиевич Дзуганов²,
Тимур Муаедович Апхудов³, Аслан Узеирович Заммоев⁴,
Инал Олегович Макуашев⁵

^{1,2,3,5}Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова, проспект Ленина, 1в, Нальчик, Россия, 360030

⁴Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного садоводства, Нальчик, ул. Шарданова, 23, Нальчик, Россия, 360004

^{✉1}hajmetov@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5830-4355>

²dzuganovv55@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4286-1733>

³aphudov75@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9304-1324>

⁴zammoev@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7966-3557>

⁵07energokbr@mail.ru

Аннотация. Важным агротехническим приемом по уходу за многолетними плодовыми насаждениями является обрезка деревьев, затраты на которую составляют 22-24% всех трудозатрат на производство плодов. В зависимости от конструкции насаждений и их возраста объем обрезаемых ветвей составляет 3-20 т/га. Такие отходы требуют выполнения технологических операций по их утилизации. В настоящее время рынок сельскохозяйственной техники предлагает сельхозтоваропроизводителям большой типаж машин для подбора и измельчения срезанных ветвей плодовых деревьев, имеющих различные конструктивно-технологические отличия. Однако основным их недостатком является высокая энергоемкость процесса измельчения срезанных ветвей плодовых деревьев. В связи с этим актуальной задачей является разработка и исследование конструкции подборщика-измельчителя, позволяющего подбирать и измельчать срезанные ветви плодовых деревьев с минимальной энергоемкостью. Цель работы – определение энергоемкости измельчения срезанных ветвей плодовых деревьев роторным двухвалковым измельчителем. Исследования проведены с использованием методов физического и математического моделирования и теории математического планирования эксперимента. Получены аналитические зависимости для расчета мощности привода измельчительного устройства. Разработана экспериментально-лабораторная установка. Получено уравнение регрессии и построены зависимости мощности, необходимые для измельчения срезанных ветвей плодовых деревьев от конструктивных параметров роторного двухвалкового измельчителя. Установлено, что минимальная мощность (6,5 кВт), затрачиваемая на измельчение срезанных ветвей плодовых деревьев, обеспечивается при следующих параметрах двухвалкового роторного измельчителя: скорость подачи ветвей 1,4 м/с; окружная скорость режущей кромки ножа 11 м/с; зазор между режущей кромкой ножа и валом противоположного ротора 0,003 м; при часовой производительности подборщика-измельчителя равной 0,8 га/ч. Энергоемкость процесса измельчения срезанных ветвей плодовых деревьев составляет 8,13 кВт·ч/га.

Ключевые слова: плодовые деревья, обрезка, подбор, измельчение, двухвалковый роторный измельчитель, мощность, энергоемкость

Для цитирования. Хажметов Л. М., Дзуганов В. Б., Апхудов Т. М., Заммоев А. У., Макуашев И. О. Энергоемкость процесса измельчения срезанных ветвей плодовых деревьев двухвалковым роторным измельчителем // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова, 2023. № 2(40). С. 114–121. doi: 10.55196/2411-3492-2023-2-40-114-121

Original article

Energy intensity of the process of shredding cut branches of fruit trees with a two-roll rotary shredder

Luan M. Khazhmetov^{✉1}, Vyacheslav B. Dzukanov², Timur M. Apkhudov³,
Aslan U. Zammoev⁴, Inal O. Makuashev⁵

^{1,2,3,5}Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, 1v Lenin Avenue,
Nalchik, Russia, 360030

⁴The North Caucasian Scientific Research Institute of Mountain and Foothill Gardening, 23
Shardanov Street, Nalchik, Russia, 360004

^{✉1}hajmetov@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5830-4355>

²dzukanovv55@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4286-1733>

³aphudov75@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9304-1324>

⁴zammoev@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7966-3557>

⁵07energokbr@mail.ru

Abstract. An important agrotechnical technique for caring for perennial fruit plantations is tree pruning, the cost of which is 22-24% of all labor costs for fruit production. Depending on the design of plantations and their age, the volume of pruned branches is 3-20 t/ha. Such waste requires the implementation of technological operations for their disposal. At present, the agricultural machinery market offers agricultural producers a wide range of machines for picking up and chopping cut branches of fruit trees, which have various design and technological differences. However, their main disadvantage is the high energy intensity of the process of grinding cut branches of fruit trees. In this regard, an urgent task is to develop and study the design of a pick-up-chopper, which allows picking up and chopping cut branches of fruit trees with minimal energy consumption. The purpose of the work is to determine the energy intensity of chopping cut branches of fruit trees with a rotary two-roll grinder. The studies were carried out using the methods of physical and mathematical modeling and the theory of mathematical planning of the experiment. Analytical dependencies for calculating the drive power of the grinding device are obtained. An experimental laboratory setup has been developed. A regression equation has been obtained and dependences of the power necessary for grinding the cut branches of fruit trees on the design parameters of a two-roll rotary grinder have been constructed. It has been established that the minimum power (6.5 kW) spent on chopping the cut branches of fruit trees is provided with the following parameters of a two-roll rotary grinder: branches feed rate 1.4 m/s; circumferential speed of the cutting edge of the knife 11 m/s; the gap between the cutting edge of the knife and the shaft of the opposite rotor is 0.003 m, with an hourly output of the pick-up-chopper equal to 0.8 ha/h. The energy intensity of the process of crushing cut branches of fruit trees is 8.13 kWh/ha.

Keywords: fruit trees, pruning, selection, grinding, two-roll rotary chopper, power, energy intensity

For citation. Khazhmetov L.M., Dzukanov V.B., Apkhudov T.M., Zammoev A.U., Makuashev I.O. Energy intensity of the process of shredding cut branches of fruit trees with a two-roll rotary shredder. *Izvestiya Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2023;2(40):114–121. (In Russ.).
doi: 10.55196/2411-3492-2023-2-40-114-121

Введение. Важным агротехническим приемом по уходу за многолетними насаждениями является обрезка деревьев, затраты на которую составляют 22-24% всех трудозатрат на производство плодов. В зависимости от конструкции насаждений и их возраста объем обрезаемых ветвей составляет 3-20 т/га. Такие отходы требуют выполнения технологических операций по их переработке [1].

Срезанные ветви собираются рабочими с погрузкой в транспортное средство, перемещающееся непосредственно по междурядью, вывозу их за пределы сада с последующим сжиганием. Недостатком данной технологии является выжигание почвы, оказывающее токсичное действие на природную экосистему и здоровье человека [2].

Наиболее перспективной технологией утилизации срезанных ветвей является их измельчение в междурядьях сада и заделка полученной щепы в почву за один проход специальным агрегатом [3–5].

В настоящее время отечественный рынок предлагает сельскохозяйственным товаропроизводителям большой типаж машин для измельчения срезанных ветвей, имеющих различные конструктивно-технологические отличия. Высокая энергоёмкость измельчения срезанных ветвей является основным недостатком данных машин [6–8]. Поэтому разработка и исследование конструкции подборщика-измельчителя, позволяющего подбирать и измельчать срезанные ветви с минимальной энергоёмкостью, является актуальной.

Цель исследования – определение энергоёмкости измельчения срезанных ветвей роторным двухвалковым измельчителем.

Материалы, методы и объекты исследования. Предмет исследования – энергоёмкость процесса измельчения срезанных ветвей плодовых деревьев. Исследования проведены с использованием методов физического и математического моделирования и теории планирования эксперимента. Объект исследования – роторный двухвалковый измельчитель.

Результаты исследования. Измельчение ветвей роторным двухвалковым измельчителем происходит в несколько стадий, на каждом из которых одновременно протекают сложные процессы механической обработки древесины ветвей (фрикционное перемещение, резание, деформация, разрушение).

При создании любого технического средства необходимо стремиться к тому, чтобы его энергоёмкость была по возможности минимальной [9–13]. Анализ конструкций измельчительных машин и их работы при переработке ветвей показал, что наиболее энергоёмкой операцией является процесс резания ветвей. Из этого следует, что основным критерием оценки энергоёмкости измельчения является энергоёмкость резания ветвей.

Энергоёмкость резания ветвей рассматривается как отношение затраченной энергии на процесс резания древесины режущими

кромками ножей, установленных на роторе измельчителя, на единицу массы или объема перерабатываемой древесины срезанных ветвей [14, 15].

Мощность привода измельчительного устройства представлена в виде суммы:

$$N = \frac{N_{nod} + N_1 + N_2}{\eta_m}, \quad (1)$$

где:

N_{nod} – мощность, затрачиваемая на подачу ветвей, кВт;

N_1 – мощность, затрачиваемая на перерезание ветвей на первой ступени, кВт;

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

η_m – КПД привода.

Мощность, затрачиваемая на подачу срезанных ветвей:

$$N_{nod} = k_{y\partial} B_{n.g} v_n, \quad (2)$$

где:

$k_{y\partial}$ – коэффициент удельной силы сопротивления подающих валцов, Н/мм;

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

v_n – скорость подачи, м/с.

Мощность, затрачиваемая на перерезание ветвей:

$$N_1 = P_{cpl} v_{o1}, \quad (3)$$

где:

P_{cpl} – среднее окружное усилие, Н;

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

Среднее окружное усилие P_{cpl} определяется по формуле:

$$P_{cpl} = \frac{A_{pez} z \cdot n_{\partial}}{2\pi R}, \quad (4)$$

где:

A_{pez} – работа сил резания, Дж;

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

z – количество ножей на диске;

n_{∂} – количество ножевых дисков.

Мощность, затрачиваемая на доизмельчение массы:

$$N_2 = P_{cp2} v_{o2}, \quad (5)$$

где:

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

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

Полезный удельный расход энергии определяется по формуле:

$$E = \frac{N}{Q}. \quad (6)$$

Энергоемкость процесса измельчения описывается выражением (6).

На основе теоретических исследований в качестве критерия оптимизации работы выбрана мощность, необходимая для измельчения срезанных ветвей.

Разработана установка (рис. 1) для проведения экспериментальных исследований.

Принцип работы установки состоит в следующем: срезанные ветви плодовых деревьев посредством конвейера 7 и валцов 5 подаются в камеру измельчения, где роторный измельчитель 1, вращаясь с определенной окружной скоростью, измельчает и за счет центробежной силы подает измельченную массу в устройство для сбора 8.

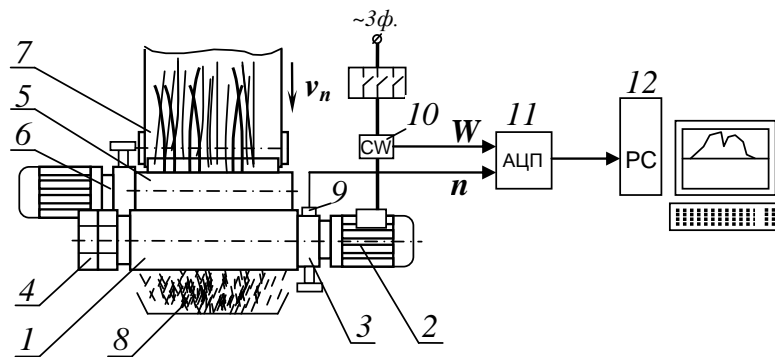


Рисунок 1. Установка для проведения исследований:

- 1 – измельчитель; 2 – электродвигатель; 3 – вариатор; 4 – устройство для торможения; 5 – валцы для подачи; 6 – электропривод; 7 – конвейер; 8 – устройство для сбора измельченной массы; 9 – датчик скорости; 10 – датчик мощности электродвигателя; 11 – аналого-цифровой преобразователь; 12 – компьютер

Figure 1. The scheme of the experimental laboratory installation:

- 1 – chopper; 2 – electric motor; 3 – variator; 4 – device for braking; 5 – rollers for feeding; 6 – electric drive; 7 – conveyor; 8 – device for collecting the crushed mass; 9 – speed sensor; 10 – electric motor power sensor; 11 – analog-to-digital converter; 12 – computer

На основании технической информации были выбраны основные уровни факторов и интервалы их варьирования (табл. 1).

Изменение скоростей вращения роторов измельчителя и подающих валцов осуществ-

лялось при помощи вариаторов 3 (рис. 1). Изменение зазора между ножами и ротором осуществлялось за счет изменения межосевого расстояния между роторами.

Таблица 1. Факторы и уровни их варьирования
Table 1. Factors and levels of their variation

| № п/п | Факторы | Кодированные обозначения | Уровни | | | Интервал |
|-------|---|--------------------------|--------|---------|---------|----------|
| | | | нижний | нулевой | верхний | |
| 1 | Скорость подачи срезанных ветвей, V_n , м/с | X_1 | 0,8 | 1,4 | 2,0 | 0,6 |
| 2 | Окружная скорость ножа, V_o , м/с | X_2 | 8 | 10 | 12 | 2 |
| 3 | Зазор между ножами и валом ротора, S , м | X_3 | 0,001 | 0,0025 | 0,004 | 0,0015 |

Для измерения частоты вращения использовался датчик 9 ТХ-4-ТСМ. Измерение расходуемой мощности измельчителем проводилось с помощью преобразователя мощности Е 849 М. Электрический сигнал от датчиков поступал на входы аналого-цифрового преобразователя 11 Е-140, с которого с помощью регистрирующей программы L-Graph на персональном компьютере считывались данные измерений и заносились на хранение в память для последующей обработки.

Результаты экспериментов обрабатывались в соответствии с методами планирования многофакторного эксперимента и математической статистики с использованием ЭВМ.

В результате обработки экспериментальных данных получены следующие уравнения регрессии:

в кодированном виде

$$Y = 7848,2 + 1432,3 \cdot X_1 - 1100,7 \cdot X_1^2 + 1487 \cdot X_2 - 639,8 \cdot X_2^2 - 467,9 \cdot X_3 + 260,5 \cdot X_3^2 + 1952 \cdot X_1 \cdot X_2 - 47,4 \cdot X_2 \cdot X_3 - 614,7 \cdot X_1 \cdot X_3. \quad (7)$$

в раскодированном виде

$$N_{изм} = -5392,3 - 4313,4 \cdot v_n - 1719,8 \cdot v_n^2 + 2234,5 \cdot v_o - 159,95 \cdot v_o^2 + 405216 \cdot s + 1220 \cdot v_n \cdot v_o - 512250 \cdot v_n \cdot s. \quad (8)$$

На рисунках 2-4 приведены зависимости мощности, необходимые для измельчения ветвей от исследуемых факторов.

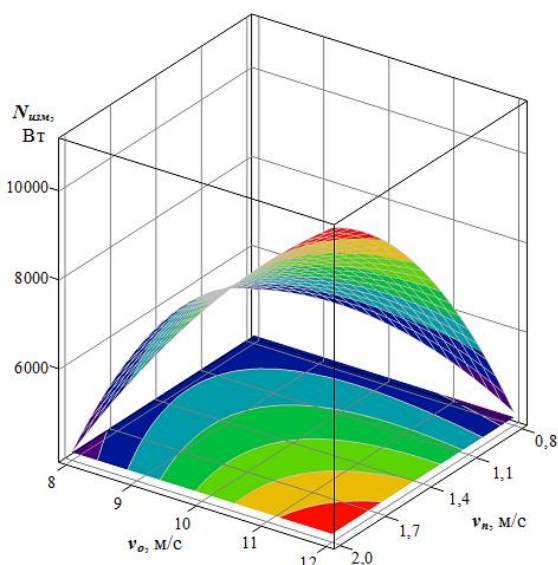


Рисунок 2. Зависимость мощности от скорости подачи и окружной скорости ножа
Figure 2. The dependence of power on the feed rate and circumferential speed of the knife

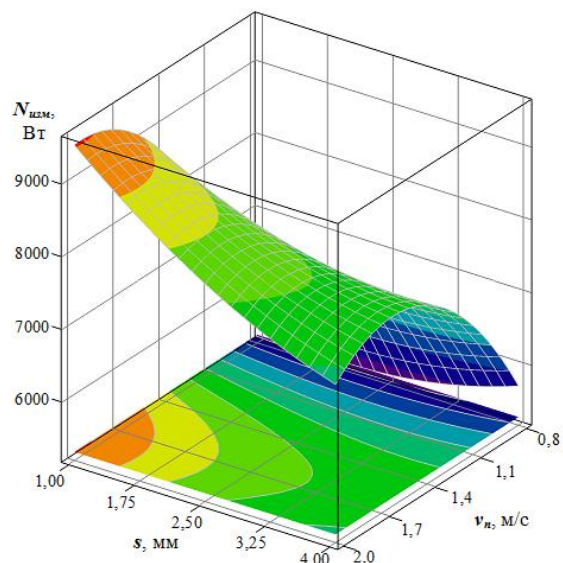


Рисунок 3. Зависимость мощности от скорости подачи и зазора между ножами и валом ротора
Figure 3. The dependence of power on the feed rate and the gap between the knives and the rotor shaft

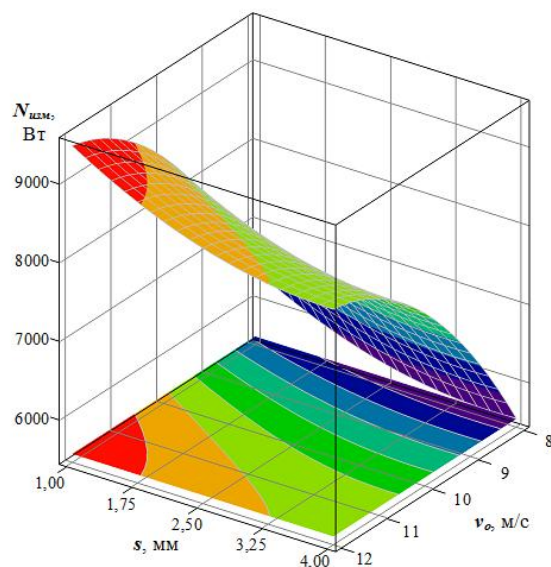


Рисунок 4. Зависимость мощности от окружной скорости ножа и зазора между ножами и валом ротора

Figure 4. The dependence of power on the circumferential speed of the knife and the gap between the knives and the rotor shaft

Исследованиями установлено, что наибольшее влияние на энергоёмкость процесса измельчения срезанных ветвей оказывают окружная скорость ножей и зазор между ножами и валом ротора.

Выводы. Установлено, что минимальная мощность (6,5 кВт), необходимая для из-

мельчения срезанных ветвей, обеспечивает измельчителем при скорости подачи 1,4 м/с; окружной скорости ножей 11 м/с; зазоре между ножами и ротором 0,003 м.

Энергоемкость процесса измельчения ветвей составляет 8,13 кВт ч/га, при производительности подборщика-измельчителя равной 0,8 га/ч.

Список литературы

1. Апажев А. К., Шекихачев Ю. А. Оптимизация функционирования сельскохозяйственных производственных систем // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2022. № 1(35). С. 81–89. DOI: 10.55196/2411-3492-2022-1-35-90-97.
2. Хажметов Л. М., Макушев И. О. Современные технологии утилизации обрезков плодовых насаждений // Обеспечение устойчивого и биобезопасного развития АПК: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции (27-28 апреля 2022 г.). Нальчик: Кабардино-Балкарский ГАУ, 2022. С. 330–333.
3. Завражнов А. И., Манаенков К. А., Ланцев В. Ю. К вопросу утилизации отходов обрезки в садах // Материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 145-летию со дня рождения И. В. Мичурина и 90-летию профессора В. И. Будаговского «Интенсивное садоводство». Мичуринск, 2000. Ч. II. С. 67–70.
4. Пат. 2188524 Российская Федерация, МПК⁷ А 01 В 17/00, А 01 G 17/00, 23/87. Машина для измельчения древесного материала и заделки полученной массы в почву / Завражнов А. И., Манаенков К. А., Ланцев В. Ю.; заявитель и патентообладатель Мичуринский государственный аграрный университет. № 2000129882/13; заявл. 29.11.2000; опубл. 10.09.2002. Бюл. № 25. 4 с.
5. Ланцев В. Ю. Применение технологии, увеличивающей запасы органических веществ в почве плодового сада // Научно-технический прогресс в садоводстве: сборник научных докладов 2-й Международной научно-практической конференции. Москва, 2003. Ч. 1. С. 118–123.
6. 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 агроуниверситета «Экология южного региона». Владикавказ: ГГАУ, 2002. С. 105–107.
7. Шомахов Л. А., Заммоев А. У. Мульчирование террас измельченной древесиной срезанных ветвей плодовых деревьев. // Материалы Международной конференции «Проблемы экологизации современного садоводства и пути их решения». Краснодар: КубГАУ, 2004. 4 с.
8. Хажметов Л. М., Макушев И. О. Мульчирование как способ борьбы с эрозией почвы // «Обеспечение устойчивого развития АПК». Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции (27-28 апреля 2022 г.). Нальчик: Кабардино-Балкарский ГАУ, 2022. С. 333–336.
9. Апажев А. К., Шекихачев Ю. А. Исследование режимов работы плодуборочных машин // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2020. № 1 (27). С. 75–79.
10. Апажев А. К., Шекихачев Ю. А., Дзуганов В. Б., Шекихачева Л. З., Чеченов М. М., Шекихачев А. А. Основные направления повышения эффективности использования сельскохозяйственной техники // АгроЭкоИнфо. 2022. № 4 (52). DOI: 10.51419/202124418.
11. Апхудов 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.
12. Апажев А. К., Шекихачев Ю. А., Каздохов Х. К., Полищук Е. А. Математическое моделирование процесса скашивания растительности с приствольных полос плодовых деревьев в садах // Агро-ЭкоИнфо. 2020. № 3(41). С. 20.
13. Апажев А. К., Егожев А. М., Полищук Е. А., Егожев А. А. Обоснование параметров рабочего органа фрезы для террасного садоводства // Сельский механизатор. 2021. № 8. С. 8–11.
14. 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. DOI: 10.34286/1995-4646-2019-67-4-15-19.
15. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Fiapshev A.G., Hazhmetov L.M. Energy efficiency of improvement of agriculture optimization technology and machine complex optimization // E3S Web of Conferences. 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES 2019. Vol. 124. 2019. 05054. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912405054>. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/50/e3sconf_ses18_05054.pdf.

References

1. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A. Optimizing the functioning of agricultural production systems. *Izvestiya Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2022;1(35):81–89. (In Russ.). DOI: 10.55196/2411-3492-2022-1-35-81-89.
2. Khazhmetov L.M., Makuashev I.O. Modern technologies of utilization of fruit plantings scraps. *Obespecheniye ustoychivogo i biobezopasnogo razvitiya APK: materialy Vserossiyskoy (natsional'noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii (27-28 aprelya 2022 g.)* [Ensuring sustainable and biosafety development of the agro-industrial complex: proceedings of the All-Russian (National) Scientific and Practical Conference (April 27-28, 2022)]. Nalchik: Kabardino-Balkarskiy GAU, 2022. Pp. 330–333. (In Russ.).
3. Zavrazhnov A.I., Manaenkov K.A., Lantsev V.Yu. On the issue of recycling pruning waste in gardens. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchenoy 145-letiyu so dnya rozhdeniya I.V. Michurina i 90-letiyu professora V.I. Budagovskogo «Intensivnoye sadovodstvo»* [Proceedings of the international scientific and practical conference of young scientists dedicated to the 145th anniversary of the birth of I. V. Michurin and 90 anniversary of Professor V.I. Budagovsky "Intensive gardening"]. Michurinsk, 2000. Part II. Pp. 67–70.
4. Pat. 2188524 Russian Federation, Int. Cl⁷ A 01 B 17/00, A 01 G 17/00, 23/87. Machine for grinding woody material and embedding produced mass into soil; Zavrazhnov A.I., Manaenkov K.A., Lantsev V.Yu.; applicant and patent holder: Michurinskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. No. 2000129882/13; application 29.11.2000, publ. 10.09.2002. Bull. № 25.4 p. (In Russ.).
5. Lantsev V.Yu. Application of technology that increases the reserves of organic substances in the soil of an orchard. *Nauchno-tehnicheskij progress v sadovodstve: sbornik nauchnykh dokladov 2-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Scientific and technical progress in gardening: collection of scientific reports of the 2nd International Scientific and Practical Conference]. Moscow, 2003. Part 1. Pp. 118–123. (In Russ.).
6. Balkarov R.A., Zammoev A.U. Utilization of wood of cut branches of fruit trees in mountain and foothill gardening. *Materialy regionoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh Gorskogo gosudarstvennogo agrouniversiteta «Ekologiya yuzhnogo regiona»* [Materials of the regional scientific conference of young scientists of the Gorsky State Agro University "Ecology of the southern region"]. Vladikavkaz: GGAU, 2002. Pp. 105–107. (In Russ.).
7. Shomakhov L.A., Zammoev A.U. Mulching of terraces with chopped wood of cut branches of fruit trees. *Materialy mezhdunarodnoy konferentsii «Problemy ekologizatsii sovremennogo sadovodstva i puti ikh resheniya»*. [Proceedings of the international conference "Problems of ecologization of modern horticulture and ways to solve them"] Krasnodar: KubGAU, 2004. 4 p. (In Russ.).
8. Khazhmetov L.M., Makuashev I.O. Mulching as a way to control soil erosion. *Obespecheniye ustoychivogo i biobezopasnogo razvitiya APK: materialy Vserossiyskoy (natsional'noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii (27-28 aprelya 2022 g.)* [Ensuring sustainable and biosafety development of the agro-industrial complex: proceedings of the All-Russian (National) Scientific and Practical Conference (April 27-28, 2022)]. Nalchik: Kabardino-Balkarskiy GAU, 2022. Pp. 333–336. (In Russ.).
9. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A. Study of operation modes of fruit harvesting machines. *Izvestiya Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2020;1(27):75–79. (In Russ.).
10. Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A., Dzuganov V.B., Shekikhacheva L.Z., Chechenov M.M., Shekikhachev A.A. The main directions for increasing the efficiency of the use of agricultural machinery. *AgroEkoInfo*. 2022;4(52). DOI: 10.51419/202124418. (In Russ.).
11. Apkhudov T.M., Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A. Mathematical modeling of the process of fruit branch grinding using a rotary grinder. *Machinery and equipment for rural area*. 2019;9(267):21–24. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-9-21-24. (In Russ.).
12. Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A., Kazdokhov Kh.K., Polishchuk Ye.A. Mathematical modeling of the process of mowing vegetation from near-trunk strips of fruit trees in orchards. *AgroEkoInfo*. 2020;3(41): 20. (In Russ.).
13. Apazhev A.K., Yegozhev A.M., Polishchuk Ye.A., Yegozhev A.A. Justification of the parameters of the working body of the milling cutter for terrace gardening// *Sel'skiy mekhanizator*. 2021;(8):8–11. (In Russ.).
14. 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. *The International technical-economic journal*. 2019;(4):15–19. DOI: 10.34286/1995-4646-2019-67-4-15-19. (In Russ.).
15. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Fiapshev A.G., Hazhmetov L.M. Energy efficiency of improvement of agriculture optimization technology and machine complex optimization. E3S Web of Conferences. 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES 2019. Vol. 124. 2019. 05054. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912405054>. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/50/e3sconf_ses18_05054.pdf.

Сведения об авторах

Хажметов Луан Мухажевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технической механики и физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 6145-0808, Author ID: 728417, Scopus ID: 57205436522, Researcher ID: AAU-4007-2019

Дзуганов Вячеслав Барасбиевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры механизации сельского хозяйства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 3358-4604, Author ID: 754479, Scopus ID: 57219486929

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

Заммоев Аслан Узеирович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом механизации трудоемких процессов в садоводстве, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного садоводства», SPIN-код: 6317-3115, Author ID: 695203

Макушев Инал Олегович – аспирант кафедры энергообеспечения предприятий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова»

Information about the authors

Luan M. Khazhmetov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technical Mechanics and Physics, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 6145-0808, Author ID: 728417, Scopus ID: 57205436522, Researcher ID: AAU-4007-2019

Vyacheslav B. Dzukanov – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Agricultural Mechanization, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 3358-4604, Author ID: 754479, Scopus ID: 57219486929

Timur M. Aphudov – 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

Aslan U. Zammoev – Candidate of Technical Sciences, Leading researcher, Head of the Department of mechanization of labor-intensive processes in Horticulture, North Caucasian Research Institute of Mountain and Foothill Gardening, SPIN-code: 6317-3115, Author ID: 695203

Inal O. Makuashev – Postgraduate student of the Department of Energy Supply of Enterprises, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov

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 11.05.2023;
одобрена после рецензирования 26.05.2023;
принята к публикации 02.06.2023.*

*The article was submitted 11.05.2023;
approved after reviewing 26.05.2023;
accepted for publication 02.06.2023.*