

Леса России и хозяйство в них. 2021. № 3. С. 55–62.

Forests of Russia and economy in them. 2021. № 3. P. 55–62.

Научная статья

УДК 551.510:504.064(470.5)

doi: 10.51318/FRET.2021.97.47.007

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МОТОРНЫХ ПИЛ С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ИНТЕНСИВНОГО ВЕДЕНИЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Андрей Вениаминович Мехренцев¹, Алина Флоритовна Уразова²,
Сергей Михайлович Крысанов³

^{1,2,3} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

¹ mehrentsevav@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2186-0152>

² urazovaaf@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2771-2334>

³ kwco@yandex.ru

Аннотация. Проведены экспериментальные исследования оценки производительности чистого пиления в зимний период в условиях учебно-опытного лесхоза УГЛТУ в пос. Северка. Производительность чистого пиления определялась в процессе раскряжевки осиновых образцов с помощью аккумуляторной пилы STIHL MSA 220 со съёмным аккумулятором AP 300S. В соответствии с планированием эксперимента были получены данные о среднем времени пропила t_{cp} с фиксацией среднего диаметра пропила D_{cp} . После обработки результатов эксперимента были найдены значения средней производительности чистого пиления $P_{чп}$. В качестве источника питания применялся аккумулятор AP 300S. В результате расчетов для бесперебойной работы при 7-часовой рабочей смене рабочему потребуется 4 заряженных аккумулятора. Для более эффективной работы предлагается использовать современные ранцевые аккумуляторы, которые устанавливаются в специальном ортопедическом жилете с наплечной и поясной фиксацией на спине работника. На основе результатов собственных исследований авторами предложен альтернативный источник электрического тока в условиях лесного мастерского участка. В качестве приоритетных для условий Урала можно рекомендовать солнечные панели или термогенераторы, работающие на основе принципа Пельтье. Наиболее эффективным зарядным устройством для восстановления работоспособности аккумуляторных батарей может быть рекомендована энергетическая тепловая колонна, оснащенная электронными термогенераторами.

Ключевые слова: электропила, бензиномоторная пила, аккумуляторная пила, производительность чистого пиления, мощность, раскряжевка, аккумулятор, рубки ухода, альтернативные источники энергии.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках научного проекта «FEUG-2020-0013».

Scientific article

INVESTIGATION OF THE USE OF MOTOR SAWS WITH AN ELECTRIC DRIVE IN THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF INTENSIVE FORESTRY

Andrey V. Mehrentsev¹, Alina F. Urazova², Sergey M. Krysanov³

^{1,2,3}Ural state forestry engineering university, Yekaterinburg, Russia

¹mehrentsevav@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2186-0152>

²urazovaaf@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2771-2334>

³kwco@yandex.ru

Annotation. Experimental studies of the evaluation of the productivity of clean sawing in the winter period in the conditions of the educational and experimental forestry of UGLTU in the village were carried out. Severka. The performance of clean sawing was determined during the bucking of aspen samples using a STIHL MSA 220 battery saw with a removable AP 300S battery. In accordance with the planning of the experiment, data were obtained on the average time of cutting t_{sr} with the fixation of the average diameter of the cut D_{sr} . After processing the results of the experiment, the values of the average productivity of pure sawn P_{pp} were obtained. The AP 300S battery was used as a power source. As a result of calculations, for uninterrupted operation during a 7-hour work shift, the worker will need 4 charged batteries. For more efficient work, it is proposed to use modern backpack batteries, which are installed in a special orthopedic vest with shoulder and waist fixation on the employee's back. Based on the results of their own research, the authors proposed an alternative source of electric current in the conditions of a forest workshop site. As a priority for the conditions of the Urals, we can recommend solar panels or thermal generators operating on the basis of the Peltier principle. An energy heat column equipped with electronic thermogenerators can be recommended as the most effective charger for restoring the operability of batteries.

Keywords: electric saw, gasoline-powered saw, battery saw, clean sawing performance, power, bucking, battery, care cabins, alternative energy sources.

Funding. The research was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education within the framework of the scientific project «FEUG-2020-0013».

Введение

Период 30–40-х годов характерен исключительной интенсивностью опытных работ по созданию переносных механических цепных пил, и результатом этой работы явилось создание вскоре после Великой Отечественной войны новой модели электропилы ЦНИИМЭ ВАКОПП. Будучи почти вдвое легче своих предшественниц, пила ВАКОПП с 1946 г. находит широкое применение в лесной промышленности. Одновременно в лес поступают передвижные электростанции ПЭС-12-50 нормальной частоты тока (50 Гц) мощностью 12 кВт.

Однако наряду со значительным снижением общего веса электропила ВАКОПП имела недостаточную рабочую длину шины (500 мм) и малую мощность двигателя – 1,3 кВт.

Подлинную техническую революцию в механизации валки леса и раскряжёвки хлыстов произвела пила ЦНИИМЭ-К5. В ней был применен электродвигатель повышенной частоты тока (200 Гц). Вместо 3000 оборотов в минуту вал электродвигателя развивал 12 000 оборотов, что и позволило снизить вес двигателя более чем вдвое, не уменьшив при этом его мощности (1,3 кВт).

Массовое применение в лесозаготовительном производстве электропил показало их существенные преимущества по сравнению с бензомоторными пилами. Более простая конструкция позволяла пользоваться электроинструментами работникам с невысокой квалификацией, уменьшенный шум и вибрация улучшали условия работы. В 70-х годах прошлого столетия в СССР был освоен выпуск более совершенной электропилы ЭПЧ-3, которая в основном использовалась для раскряжёвки хлыстов на нижних лесных складах [1]. На лесосечных работах к тому времени

повсеместно использовались бензомоторные инструменты. По мере внедрения в технологический процесс раскряжевки на нижних складах полуавтоматических раскряжевочных линий сфера применения электропил еще более сузилась до предприятий с малым годовым грузооборотом не более 30–50 тыс. м³. Электропила ЭПЧ-3 работала от двигателя с частотой тока 400 Гц, что позволяло повысить его мощность без увеличения массы.

Технические характеристики электропил представлены в табл. 1.

В дальнейшем научные организации и отдельные изобретатели, используя электродвигатели повышенной частоты тока, создали ряд конструкций облегченных электропил, которые

в массовое производство внедрены не были в связи с ограниченной зоной их применения за счет необходимости кабельной системы для передачи напряжения от преобразователя напряжения и электросети.

Энергия, вырабатываемая двигателем цепной пилы, расходуется на пиление, преодоление трения пильной цепи о направляющую шину и сопротивление, возникающее при передаче вращения от вала двигателя к ведущей звездочке. Причем минимальное натяжение пильной цепи, равное монтажному натяжению, будет в точке сбегания ее с ведущей звездочки. Соответственно, максимальное натяжение цепи будет в точке набегания на ведущую звездочку. Его величина определится [2]:

$$Z_{\max} = P_p + P_u \mu + 2,08 m_1 g l_{ш} \mu + 0,08 Z_o,$$

где P_p – усилие резания, Н; P_u – усилие отжима, Н; $P_u = (0,7...1,0)P_p$ в зависимости от остроты режущих элементов пильной цепи; μ – коэффициент трения пильной цепи о шину ($\mu = 0,20...0,25$); m_1 – масса 1 пог. м цепи, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; $l_{ш}$ – длина пильной шины по осям звездочек, м; Z_o – монтажное натяжение пильной цепи, Н.

Мощность двигателя привода цепной пилы

$$N_n = \frac{Z_{\max} v}{\eta_n},$$

где v – скорость резания, м/с; η_n – КПД передачи от вала двигателя к ведущей звездочке пильного аппарата.

Таблица 1

Table 1

Технические характеристики электропил
Technical characteristics of electric saws

Показатель Indicator	Тип электропилы Type of electric saw			
	ЦНИИМЭ К-5 TSNIIME K-5	ВАКОПП WAKOPP	ЭПК-3 АЛТИ ЕРК-3 АЛТИ	ЭПЧ-3 ЕРН-3
Мощность двигателя, кВт Engine power, kW	1,4	1,6	1,2	3,0
Вес пилы, кг Saw weight, kg	9,5	20,4	8,5	9,5
Высота пропила (max), мм Cutting height (max), mm	950	500	500	470
Производительность чистого пиления, см ² /с Productivity of clean sawing, cm ² /s	38	35	55	80
Частота тока, Гц Current frequency, Hz	200	50	200	400
Скорость резания, м/с Cutting speed, m/s	5,5	5,0	6,2	11,5
Ширина пропила, мм Cutting width, mm	7	8	6	
Шаг звеньев цепи, мм Chain link pitch, mm	15	20	15	15

Установочная мощность двигателя электромоторной пилы может быть выбрана меньшей величины с учетом его перегрузочной способности. Электродвигатель проверяется на перегрузку по формуле

$$N_o \geq \frac{N_n}{1,6...2,0},$$

где N_o – мощность двигателя с учетом допустимой перегрузки, Вт.

Таким образом, при прочих равных условиях энергозатраты на пиление при использовании моторных инструментов определяются исходя из скорости резания и перегрузочной способности двигателя. Отсутствие фрикционной центробежной муфты в конструкции электропилы по сравнению с приводом от ДВС обеспечивает стабильную скорость резания независимо от условий пиления по сравнению с таковой у бензомоторной пилы. Этот параметр, наряду с перегрузочной способностью электродвигателя, позволяет обеспечить более высокую энергоэффективность при пиении древесины электропилой.

В настоящее время на рынке оборудования для механизированного ведения лесохозяйственных работ появились первые профессиональные аккумуляторные электропилы, способные составить конкуренцию бензомоторным пилам при выполнении рубок ухода в молодняках. Электропилы, оснащенные современными литийионными аккумуляторами рассчитаны на 1200 полных

циклов заряда и разряда, что при профессиональном использовании обеспечит срок службы не менее 2,5 лет.

Преимущества аккумуляторных пил:

- отсутствие на рабочем месте выхлопных газов, что особенно важно при работе в зимнее время года, когда требуется очистка рабочего места от снега с созданием у ствола дерева прямка, в котором концентрация выхлопных газов от бензопилы создает вредные условия работы;
- небольшой вес;
- быстрый запуск в работу при постоянной скорости резания;
- низкие уровни шума и вибрации, свойственные двигателям внутреннего сгорания;
- электропила не нуждается в заправке дорогостоящим топливом.

В полной мере эти преимущества проявляются при правильной организации производственного процесса и соблюдении определенных регламентов.

К особенностям аккумуляторных пил следует отнести наличие бесщеточного электромотора, который имеет высокий КПД и нетребователен к обслуживанию, а также безинструментальное натяжение режущей цепи. Мощные пилы для рубок ухода, очистки ствола от сучьев и раскряжевки хлыстов оснащаются шиной длиной 35 см и режущей цепью с шагом зубьев три восьмых дюйма.

Целью работы являлись оценка производительности чистого пиления при раскряжевке аккумуляторной пилой и разработка

предложений по применению эффективных альтернативных источников энергии.

Объект

и методика исследований

Для оценки производительности чистого пиления были проведены экспериментальные исследования, для которых была использована аккумуляторная пила STIHL MSA 220 со съемным аккумулятором AP 300S энергоемкостью 281 Вт·ч и весом 1,8 кг [3]. Технические характеристики исследуемой электропилы представлены в табл. 2.

Результаты исследования

и их обсуждение

Исследования проводились в зимний период 2021 г. в условиях учебно-опытного лесхоза УГЛТУ в пос. Северка. Температура окружающего воздуха составляла -12 °С. Производительность чистого пиления определялась в процессе раскряжевки осиновых образцов. В соответствии с планированием эксперимента были получены данные о среднем времени пропила t_{cp} с фиксацией среднего диаметра пропила D_{cp} . После обработки результатов эксперимента были получены значения средней производительности чистого пиления $\Pi_{чп}$. Результаты представлены в табл. 3.

Таким образом, в результате пробных раскряжек была получена средняя величина производительности чистого пиления на уровне $40,3$ см²/с. Эта величина соответствует сменной производительности при раскряжевке

Таблица 2

Table 2

Техническая характеристика исследуемого инструмента
Technical characteristics of the instrument under study

Параметры Parameters	STIHL MSA 220 STIHL MSA 220
Скорость резания, м/с Cutting speed, m/sec	23,3
Ширина пропила, мм Cutting width, mm	5
Высота пропила (max), мм Cutting height (max), mm	400
Номинальное напряжение В Rated voltage V	36
Масса пилы без аккумулятора, кг Saw weight without battery, kg	1,8
Время работы со съемным аккумулятором AP 300 S, мин Working time with removable battery AP 300 S, min	До 37
Время работы с ранцевым аккумулятором, мин Working time with a satchel battery, min	До 290
Тип аккумулятора Battery Type	Литийионный
Емкость съемного аккумулятора, Ач Removable battery capacity, Ah	4
Емкость ранцевого аккумулятора, Ач Capacity of backpack battery, Ah	31,1
Масса съемного аккумулятора, кг Weight of battery capacity, Ah	1,2
Масса ранцевого аккумулятора, кг Weight of backpack battery, Ah	6,9

Таблица 3

Table 3

Исследование производительности чистого пиления
Investigation of the performance of clean sawing

Средний диаметр пропила, см The average diameter of the cut, cm	Среднее время пропила, с Average cutting time, s	Производительность чистого пиления, см ² /с Productivity of pure sawing, cm ² /c
10	2,4	32,7
20	18,2	49,8
30	24,2	38,8

51 куб. м в смену при 7-часовой рабочей смене.

Как было указано выше, в качестве источника питания применялся аккумулятор AP 300S энергоемкостью 281 Вт·ч, что соответствует времени рабо-

ты на одном заряде, по данным компании STIHL, 56 мин. Для бесперебойной работы при 7-часовой рабочей смене рабочему потребуется 4 заряженных аккумулятора. В обеденный перерыв работнику необходимо будет

заменить комплект разряженных аккумуляторов. Для более эффективной работы предлагается использовать современные ранцевые аккумуляторы, которые устанавливаются в специальном ортопедическом жилете

с наплечной и поясной фиксацией на спине работника. Пила связывается с аккумулятором специальным кабелем. Ранцевые аккумуляторы типа AR 3000L имеют емкость 1520 Вт·ч при массе 9,5 кг. Заряда ранцевого аккумулятора достаточно для работы в течение 7-часовой рабочей смены.

Восстановление работоспособности аккумуляторов, обеспечивающих питание, производится специальными зарядными устройствами, работающими от сети 220 В и обеспечивающими полный заряд при напряжении 36 В за 60 мин для съемных аккумуляторов типа AP300S и за 250–400 мин для ранцевых аккумуляторов. В условиях выполнения лесохозяйственных работ проблема источника электрической энергии в лесу решалась путем оснащения передвижными электростанциями лесозаготовительных участков

ввиду их отдаленности от стационарных источников энергии и линий электропередач. Еще в довоенное время рядом машиностроительных предприятий было освоено производство передвижных электростанций мощностью 40–60 кВт, которые устанавливались на шасси гусеничных тракторов. Повышение эффективности производства электроэнергии в условиях мастерского участка решалось за счет отказа от жидкого топлива путем применения газогенераторных мотор-генераторов, работающих на твердом древесном топливе, которого всегда в избытке. В довоенный период только на Онежском машиностроительном заводе было произведено более 1000 мобильных газогенераторных установок. С ликвидацией дефицита жидкого топлива в 50–60-х годах прошлого века работы по совершенствованию газогенера-

торных установок были прекращены [4].

В настоящее время для решения проблемы источника электрического тока в условиях лесного мастерского участка можно рассмотреть так называемые альтернативные источники. В качестве приоритетных для условий Урала можно рекомендовать солнечные панели или термогенераторы, работающие на основе принципа Пельтье [5]. Принципиальная схема представлена на рис. 1.

Причем если солнечные батареи не обеспечивают постоянной зарядки аккумуляторов в силу природных причин, то электронные термогенераторы, установленные на горячей поверхности, например дровяной печи, могут работать в условиях лесного мастерского участка круглосуточно и независимо от сезона, используя в качестве топлива лесосечные отходы. Примером

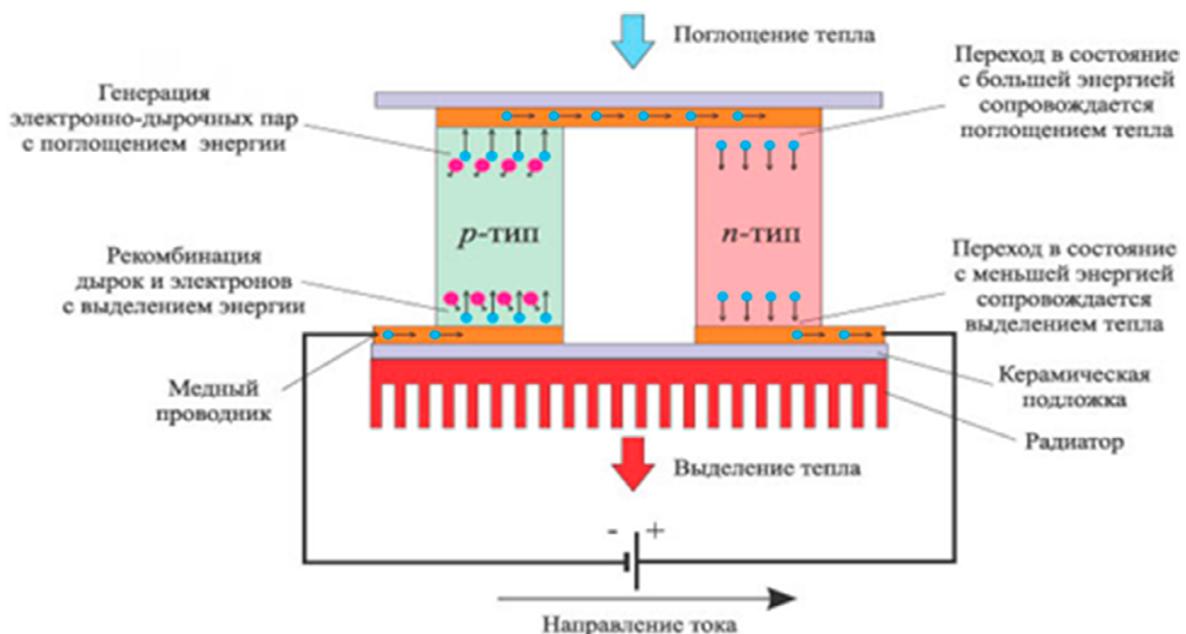


Рис. 1. Принципиальная схема зарядного устройства
Fig. 1. Schematic diagram of the charger

серийного агрегата для зарядки аккумуляторов может быть рассмотрена печь «Индибирка» [6], состав зарядного устройства представлен на рис. 2.

Главный недостаток электронных термогенераторов –

низкий КПД, в условиях лесного мастерского участка нивелируется обилием древесного топлива. На основе описанной выше печи может быть предложена конструкция универсальной энергетической тепловой колон-

ны, работающей на древесном топливе и оснащенной активной тепловой цилиндрической поверхностью для размещения электронных термогенераторов.

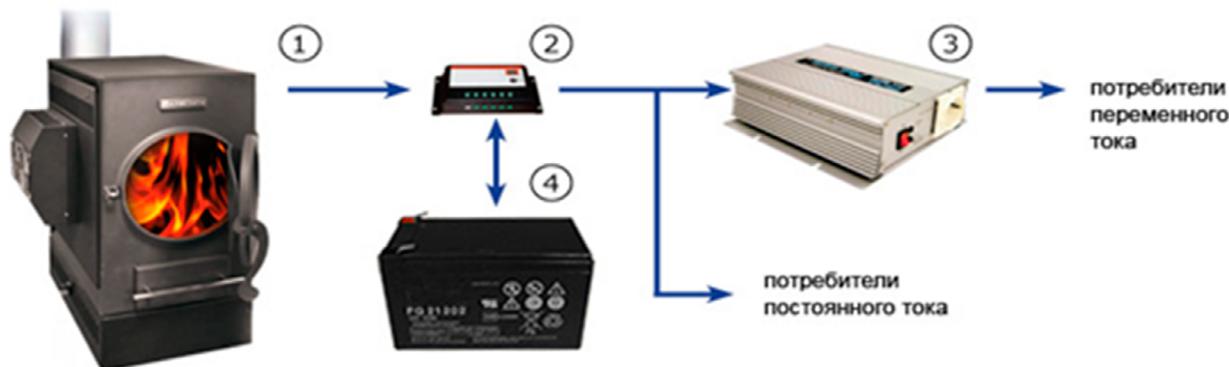


Рис. 2. Состав зарядного устройства:

1 – энергопечь с термогенератором; 2 – контроллер; 3 – инвертор; 4 – батарейный блок

Fig. 2. The composition of the charger:

1 – an energy furnace with a thermogenerator; 2 – a controller; 3 – an inverter; 4 – a battery pack

Выводы

1. Применение электропил для выполнения технологического процесса ведения лесного хозяйства позволяет в современных условиях снизить негативные факторы (шум, вибрация), действующие на работника, а также отказаться от дорогого жидкого топлива.

2. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что достаточный

уровень производительности труда – 40,3 см²/с, который может быть достигнут при профессиональном использовании электропил на рубках ухода в тонкомерных насаждениях. Производительность чистого пиления электропилы соответствует паспортному значению этого параметра для бензопилы «Крона-202». Дальнейшее совершенствование электропил и аккумуляторных систем позволяет

сделать вывод о перспективе их применения для снижения углеродных стоков в лесном хозяйстве.

3. Наиболее эффективным зарядным устройством для восстановления работоспособности аккумуляторных батарей может быть рекомендована энергетическая тепловая колонна, оснащенная электронными термогенераторами, работающими на основе принципа Пельтье.

Список источников

1. Пивоваров Н. С. История механизации лесозаготовок // Рос. лесн. газ. 2007. № 25. С. 5.
2. Кочегаров В. Г., Бит Ю. А., Меньшиков В. Н. Технология и машины лесосечных работ : учебник для вузов. М. : Лесн. пром-сть, 1990. 392 с.
3. Каталог продукции STIHL. – URL: <https://www.stihl.ru/stihl-produkte.aspx> (дата обращения: 12.08.2021).
4. Зыкин И. В. Становление машиностроения для лесопромышленного комплекса Советского Союза в период модернизации конца 1920-х — начала 1940-х гг. // Вестник Тюмен. гос. ун-та. Гуманитарные исследования. Humanitates. 2020. Том 6, № 1 (21). С. 119–139.

5. Элемент Пельтье – принцип работы, характеристики. URL: <https://electroinfo.net/teorija/chto-takoe-jelement-pelte-i-kak-ego-sdelat-svoimi-rukami.html> (дата обращения: 12.08.2021).
6. Руководство по эксплуатации. URL: https://граф-печнов.рф/wa-data/public/site/TMF_indigirka.pdf (дата обращения: 12.08.2021).

References

1. Pivovarov N. S. History of mechanization of logging // Rossiyskaya lesnaya gazeta. 2007. №. 25. P. 5.
2. Kochegarov V. G., Bit Yu. A., Menshikov V. N. Technology and machines of logging operations: Textbook for universities. М. : Forest industry, 1990. 392 p.
3. STIHL product catalog. URL: <https://www.stihl.ru/stihl-produkte.aspx> (accessed: 12.08.2021).
4. Zykin I. V. Formation of mechanical engineering for the timber industry complex of the Soviet Union during the modernization period of the late 1920s-early 1940s // Bulletin of the Tyumen State University. Humanitarian studies. Humanitatis. 2020. Volume 6, No. 1 (21). P. 119–139.
5. Peltier element – The principle of operation, characteristics. URL: <https://electroinfo.net/teorija/chto-takoe-jelement-pelte-i-kak-ego-sdelat-svoimi-rukami.html> (date of reference: 12.08.2021).
6. Operation manual. URL: https://граф-печнов.рф/wa-data/public/site/tmf_indigirka.pdf (accessed 12.08.2021).

Информация об авторах

- A. B. Мехренцев – кандидат технических наук;*
A. Ф. Уразова – кандидат сельскохозяйственных наук;
C. M. Крысанов – студент.

Information about the authors

- A. V. Mehrentsev – candidate of Technical Sciences;*
A. F. Urazova – candidate of Agricultural Sciences;
S. M. Krysanov – student.

Статья поступила в редакцию 20.09.2021; принята к публикации 24.09.2021.

The article was submitted 20.09.2021; accepted for publication 24.09.2021.

Рецензент: *Теринов Н. Н., доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник Ботанического сада УрО РАН.*

Reviewer: *Terinov N. N., Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher of the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.*
