

ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ И МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 630*342

DOI: 10.18324/2077-5415-2023-2-7-13

Изучение мощностных показателей и качества среза шарнирно-сочлененным и ножевым рабочими органами роторного кустореза

М.В. Драпалюк^{1a}, Л.Д. Бухтояров^{1b}, О.А. Куницкая^{2c}, А.В. Прокудина^{1d},
О.И. Григорьева^{3e}, Д.В. Отмахов^{4f}

¹ Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова,
ул. Тимирязева, 8, Воронеж, Россия

² Арктический государственный агротехнологический университет,
Сергеляхское шоссе, 3, Якутск, Республика Саха (Якутия)

³ Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова,
Институтский пер., 5, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Тихоокеанский государственный университет, ул. Тихоокеанская, 136, Хабаровск, Россия

^a md@vglta.vrn.ru, ^b vglta-mlx@yandex.ru, ^c ola.ola07@mail.ru, ^d anastasija.pridvorova@gmail.com,

^e grigoreva_o@list.ru, ^f 003290@pnu.edu.ru

^a <https://orcid.org/0000-0002-8029-2706>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-7428-0821>, ^c <https://orcid.org/0000-0001-8542-9380>,

^d <https://orcid.org/0000-0002-6297-5466>, ^e <https://orcid.org/0000-0001-5937-0813>, ^f <https://orcid.org/0000-0002-9019-494X>

Статья поступила 05.04.2023, принята 26.04.2023

Недостаточно просто посадить лес, надо за ним ухаживать, чтобы получить насаждения с заданными характеристиками. С хозяйственной точки зрения, от того, насколько своевременно и качественно проводится уход за молодняками, зависят состав будущего леса, его продуктивность и производительность. В настоящее время в России активно внедряется модель интенсивного лесного хозяйства. В этой модели прописаны обязательные лесохозяйственные мероприятия, включая рубки ухода в молодняках. Результатом проведения этих рубок должно стать формирование целевых насаждений. Как правило, это сосновые и еловые насаждения, но в отдельных случаях это могут быть и лиственные древостои. Несвоевременное осветление леса — довольно распространенная проблема современного лесного хозяйства. Это приводит к появлению поросли, которая негативно влияет на рост и развитие молодых деревьев. Поэтому целью данной работы было изучить энергоёмкость резания роторного кустореза с шарнирно-сочлененными и ножевыми рабочими органами. Для этой цели был разработан лабораторный стенд, на котором получены мощностные характеристики двух типов рабочих органов — шарнирно-сочлененного и ножевого. Определен вид среза. Установлено, что при резании ножевым рабочим органом изогнутой формы на конце лезвия наблюдается раскол ветвей, а при резании гладким шарнирно-сочлененным лезвием происходит зажим в случае заглубления на величину длины лезвия. Работа резания отдельно стоящих ветвей диаметром 1...2,5 см на минимальных оборотах (1 000 об./мин) находится в пределах 960... 1062 Дж, на максимальных оборотах (2 500 об./мин) — в пределах 1600...2500 Дж.

Ключевые слова: осветление; лабораторный стенд; вид среза; измерение мощности.

Studying the power indicators and the quality of the cut with a rotary brush cutter with articulating and knife working bodies

M.V. Drapalyuk^{1a}, L.D. Bukhtoyarov^{1b}, O.A. Kunitskaya^{2c}, A.V. Prokudina^{1d},
O.I. Grigorieva^{3e}, D.V. Otmakhov^{4f}

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov; 8, Timiryazev St., Voronezh, Russia

² Arctic State Agrotechnological University; 3, Sergelyakhskoye Shosse, Yakutsk, Republic of Sakha

³ St. Petersburg State Forestry Engineering University under name of S.M. Kirov; 5, Institutsky Ave., St. Petersburg, Russia

⁴ Pacific State University; 136, Tikhookeanskaya St., Khabarovsk, Russia

^a md@vglta.vrn.ru, ^b vglta-mlx@yandex.ru, ^c ola.ola07@mail.ru, ^d anastasija.pridvorova@gmail.com,

^e grigoreva_o@list.ru, ^f 003290@pnu.edu.ru

^a <https://orcid.org/0000-0002-8029-2706>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-7428-0821>, ^c <https://orcid.org/0000-0001-8542-9380>,

^d <https://orcid.org/0000-0002-6297-5466>, ^e <https://orcid.org/0000-0001-5937-0813>, ^f <https://orcid.org/0000-0002-9019-494X>

Received 05.04.2023, accepted 26.04.2023

It is not enough just to plant a forest; it is necessary to take care of it in order to get a plantation with the specified characteristics. From an economic point of view, the composition of the future forest, its productivity and performance depend on how timely and high-quality maintenance of the weeds is carried out. Currently, the intensive forestry model is being actively implemented in Russia. This model prescribes mandatory forestry measures, including cleaning logging in young stand. The result of these logging operations should be the formation of target plantings. As a rule, these are pine and spruce plantations, but in some cases they may also be decidu-

ous stands. Untimely lightening of the forest is a fairly common problem of modern forestry. This leads to the appearance of overgrowth, which negatively affects the growth and development of young trees. Therefore, the purpose of this work was to study the energy intensity of cutting of a rotary brush cutter with articulating and knife working bodies. For this purpose, a laboratory stand was developed, on which the power characteristics of two types of working bodies – articulated and knife – were obtained. The type of a cut was determined, it was found that when cutting with a knife working body of a curved shape, a split of branches is observed at the end of the blade, and when cutting with a smooth articulating blade, a clamp occurs in the case of deepening by the length of the blade. The work of cutting free-standing branches with a diameter of 1... 2.5 cm at minimum rpm (1000 rpm) is within 960 ... 1062 J, at maximum rpm (2500 rpm) within 1600... 2500 J.

Keywords: clarification; laboratory stand; form of a cut; power measurement.

Введение. Рациональное использование лесных ресурсов и их восстановление — одна из главных задач лесного сектора промышленности. В лесном хозяйстве актуальными являются исследования, способствующие сохранению и устойчивому развитию лесных экосистем и принципов работы с ними [1–4]. Рубки ухода являются основой, позволяющей формировать более высокую приживаемость при лесовосстановлении, и улучшают условия роста основных пород за счет экологически более благоприятной среды [5–8]. Механизированные операции могут повысить эффективность процесса осветления лесов, но их использование ограничено из-за высоких затрат и сложности работ. Нерегулярное проведение операции осветления приводит к интенсивному росту нежелательной растительности, который, в свою очередь, влияет на выживаемость основных пород. Механизация процесса рубок ухода за лесом позволит снизить временные затраты и повысить экономическую и экологическую эффективность работ [9; 10].

Множество исследователей занимались вопросами обоснования параметров конструкций и внедрением новых технологических подходов в процесс удаления нежелательной растительности. В ходе осветлений может быть задействовано как ручное оборудование с бензиновым или электроприводом, так установленное на навеске тракторов и приводимое в движение от гидросистемы или вала отбора мощности [11; 12]. Тракторные кусторезы с дисковыми рабочими органами, а также с инерционными ножами, установленными на роторах, получили наибольшее распространение в лесном хозяйстве России [13; 14].

Использование фрезерных пил вызывает излишние энергетические затраты на тонком кустарнике, а при больших скоростях подачи приводит к неполному срезу растительности из-за «приглаживания». В то же время, при встрече с порубочными остатками или пнями такие машины, используя свою значительную мощность, эффективно их удаляют, измельчая в щепу. Таким образом, необходимо дифференцировать подход по энергетической насыщенности машин для требуемого типа и количества древесного материала [15; 16]. Для удаления небольших сорняков и травы идеально подходит нейлоновый трос, который можно видеть в ручных триммерах, однако при встрече кустарника диаметром более 1 см повышается его изнашиваемость и замедляется работа, также он быстро выходит из строя при контакте с металлическим мусором или твердыми породами. Пильные цепи подвергаются значительным нагрузкам на изгиб во время контакта с тонкомерной древесиной, так как глубина пропила значительно меньше и нет поддерживающей силы со стороны ствола [17–20]. На применение дисковых пил влияют рельеф почвы и состояние вырубki, в то время как инерционно-рубящие элементы могут быть применены благодаря возможности компенсировать уклон и обходить непреодолимые

препятствия за счет их шарнирного соединения. Работу роторов с гибкими и ножевыми рабочими органами можно описать математически, рассматривая их как систему точек и твердых тел.

Цель работы. Недостаточно исследовать характеристики инерционно-рубящих рабочих органов, которые, на наш взгляд, являются наиболее перспективными, поэтому целью работы является проведение оценки энергоёмкости процесса резания ветвей, определение вида получаемого среза и анализ данных.

Материалы и методы исследования. Эксперименты проводились на разработанном в ВГЛТУ стенде. Стенд разработан с использованием средств автоматизированного проектирования *Solidworks*. Анализ полученных данных был выполнен с помощью ПО *Microsoft Excel*. При формировании методики были изучены литературные источники.

При определении таксационных параметров ветвей (диаметра и высоты) использовались стандартные измерительные средства — метр, штангенциркуль по ГОСТ 166-80 с погрешностью измерения не более 0,1 мм, рулетка измерительная металлическая ГОСТ 7502-98. При определении влажности использовался цифровой детектор влажности древесины RZ 01 Wood. Для измерения напряжения был использован мультиметр UNI-T 61E позволяющий записывать данные на компьютер.

Лабораторный стенд (рис. 1, 2) включает в себя раму 1, внутри которой зажимаются с помощью клиньев ветви требуемого диаметра 2, срез которых происходит сменным рабочим органом 3, установленным на валу электродвигателя 4.

В качестве двигателя привода выступает дрель с мощностью 700 Вт и максимальной частотой вращения 3 000 об./мин (Makita HP1630). Патрон дрели заменен, и вместо него изготовлен фланец для крепления сменного рабочего органа. Характеристики линейного привода: максимальный ход 200 мм, создаваемое усилие 100 Н.

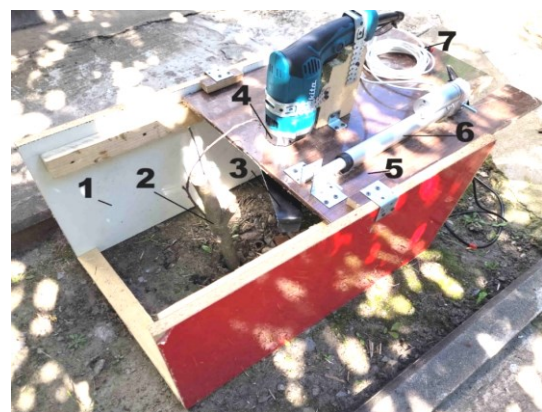


Рис. 1. Лабораторный стенд (передняя сторона)



Рис. 2. Лабораторный стенд (задняя сторона)

Электропитание подается через удлинитель 8, к которому подключен блок питания 9, выдающий постоянный ток 12 В, поступающий через ШИМ контроллер 10 на линейный привод 6; к ШИМ контроллеру подключены две кнопки 7, соответствующие движению вперед и назад штока линейного электропривода, а также имеется ручка регулировки скорости подачи.

Электродвигатель 4 запитывается от розетки 11, которая через шунт 13 и регулятор напряжения 12 подсоединена к сети 220 В посредством удлинителя 8. На контакты шунта 13 подсоединены щупы мультиметра 14, измеряющие напряжение. Измеренное напряжение каждые 0,5 с записывается через USB порт 15 на компьютер для последующего анализа.

Методика проведения опыта следующая:

- на валу двигателя с помощью фланца устанавливается рабочий орган, направление вращения вала двигателя устанавливается в сторону закручивания резьбы на гайке фланца, осуществляется затяг гайки;
- подается питание 220 В на удлинитель. Без включения двигателя с помощью управляющих кнопок 7 (рис. 2) производится перемещение стола, соответствующее минимальному вылету штока линейного электропривода. Выключается питание сети 220 В;
- в жестко установленные металлические круглые трубы вставляется ветвь исследуемого диаметра, с помощью клиньев происходит ее фиксация;
- с помощью регулятора напряжения выбирается режим работы двигателя. На двигателе нажимается пусковая кнопка и блокируется тумблером для постоянной работы;
- проверяется соединение мультиметра через USB шнур с компьютером и запускается программное обеспечение, считывающее и записывающее показания напряжения на шунте;

– отойдя на безопасное расстояние, ограниченное длиной проводов, на концах которых расположены кнопки 7, подается питание на удлинитель, в результате чего начинает работать двигатель с ротором;

– с помощью кнопок 7 рабочий стол с установленным двигателем перемещается вперед, и происходит процесс резания. По окончании процесса резания рабочий стол перемещается обратно на минимальный вылет штока. По окончании перемещения стола питание сети 220 В выключается;

– полученные данные по напряжению сохраняются для дальнейшего анализа, в названии файла указывается при каком режиме работы двигателя они были получены, какой диаметр и влажность ветви;

– остатки ветви демонтируются из трубы.

Для определения мощности на основании измерения напряжения на шунте 75ШИП1-5-0.5 (5А 75 мВ) используем закон Ома:

$$P = U \cdot I = U_c \cdot \frac{U_m \cdot I_{ш}}{U_{ш}} = 110 \text{ В} \cdot \frac{14,17 \text{ мВ} \cdot 5 \text{ А}}{75 \text{ мВ}} = 103,913 \text{ Вт} \quad (1)$$

Известно, что работа численно равна площади от мощности. Рассчитаем площадь под экспериментальными кривыми на основании формулы трапеции:

$$A = \frac{1}{2} \cdot h \cdot (a + b) \quad (2)$$

В качестве сменных рабочих органов использовали ножевой рабочий орган (см. рис. 3, а) и шарнирно-сочлененный рабочий орган (см. рис. 3, б). На рисунках видно, что в случае с ножевым рабочим органом происходит раскол ветви, а у шарнирно-сочлененного срез гладкий, без раскола.

На рис. 4 показана мощность, затрачиваемая на разгон роторов с ножевым и шарнирно-сочлененным лезвием на минимальных оборотах (1 000 об./мин) при напряжении $U_c = 110 \text{ В}$ и максимальных оборотах (2 500 об./мин) при напряжении $U_c = 210 \text{ В}$.

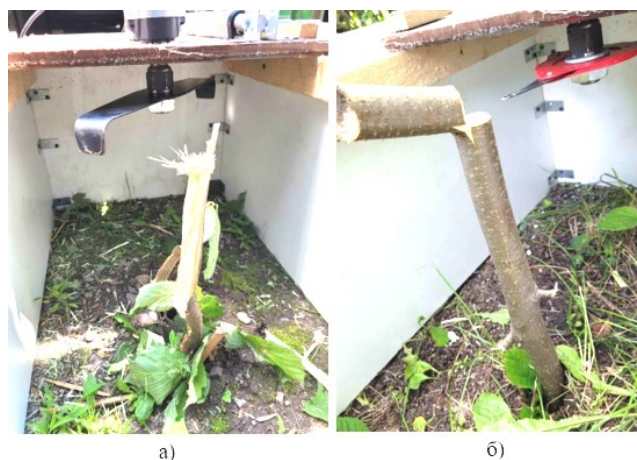


Рис. 3. Ротор с рабочим органом: а — ножевым, б — шарнирно-сочлененным

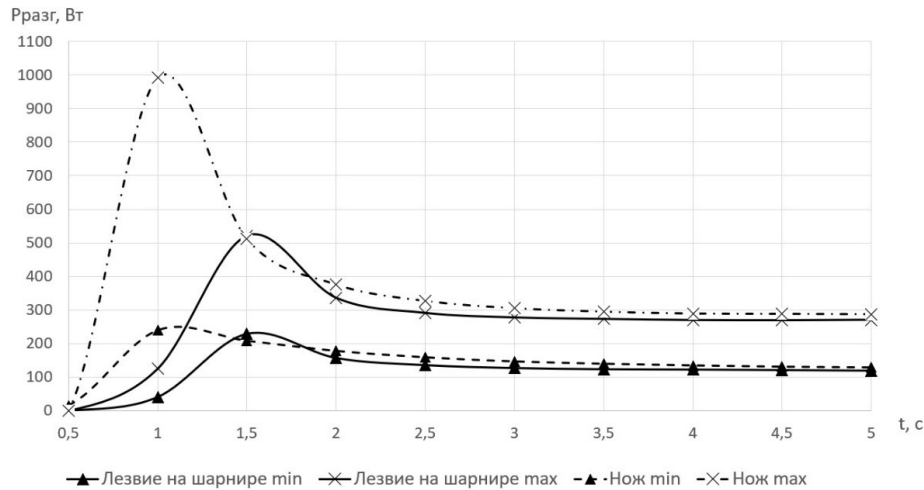


Рис. 4. Мощность при разгоне $U_{с\ min} = 110$ В, $U_{с\ max} = 210$ В ножевого и шарнирно-сочлененного (лезвие) рабочих органов

Работа при разгоне в течение 5 с для ножа составила $A_{разг_нож_min} = 709,313$ Дж, $A_{разг_нож_max} = 1763,48$ Дж. Для шарнирно-сочлененного лезвия $A_{разг_лезв_min} = 558,267$ Дж, $A_{разг_лезв_max} = 1114,5$ Дж. Таким образом, при разгоне на минимальных оборотах шарнирно-сочлененный рабочий орган тратит на 27 % меньше работы, чем ножевой, а на максимальных оборотах на 58 % меньше, чем ножевой. На основании рис. 4 установлено, что на холостом режиме работы уровень мощности составляет $P_{х_нож_min} = 129$ Вт, $P_{х_лезв_min} = 118$ Вт, $P_{х_нож_max} = 287$ Вт, $P_{х_лезв_max} = 269$ Вт. Для получения результирующей работы с учетом данных мощностей и продолжительности времени для каждого графика перемножим попарно время и мощность и получим площадь, определяющую работу резания. Сведем расчет в табл. 1.

На рис. 5 приведен фрагмент осциллограммы мощности для двух типов рабочих органов при резании ими на минимальных оборотах ($U_{с} = 110$ В) тонкой древесины $d = 1$ см, влажность $W = 11$ %.

На рис. 6 указано напряжение, снятое мультиметром Unit с шунта, напряжение сети $U_{сети}$, с помощью которого регулировались обороты, время съемки с осциллограммы для сопоставления с фрагментом видеофиксации. Запись данных производилась 1 раз в 0,5 с. Показано, как рассчитывается формула работы, и ее суммарное значение. Для более наглядного представления мощности все значения были нормализованы к значениям на холостом ходу. Суммарное значение будет складываться из мощности на холостом ходу $P_{х}$ и нормализованной мощности резания $P_{норм}$. Для последующих графиков расчет работы проводился аналогично.

На рис. 7 показаны фрагменты осциллограммы процесса резания, соответствующие режиму работы на минимальных оборотах ($U_{с} = 110$ В) ветвь $d_{в} = 3$ см, влажность $W = 92$ %.

Работа резания для ножа составила $A_{рез_Нож_min_d3} = 1543,11$ Дж, для шарнирно-сочлененного лезвия $A_{рез_Лезв_min_d3} = 410,8$ Дж. Слева шкала ординаты соответствует лезвию, справа — ножу. В процессе нож и лезвие не смогли срезать ствол, поэтому расход энергии был максимальным на данном режиме, но не приводил к срезанию. Так как время работы ротора с ножом в данном режиме 7 с, а лезвия 20 с, то для того, чтобы сопоставить работу, используем коэффициент, равный 2,857. После пересчета получим $A_{рез_Нож_min_d3} = 1543,11$ Дж, для шарнирно-сочлененного лезвия $A_{рез_Лезв_min_d3} = 144,32$ Дж.

Работа резания для ножа составила $A_{рез_Нож_min_d3} = 1543,11$ Дж, для шарнирно-сочлененного лезвия $A_{рез_Лезв_min_d3} = 410,8$ Дж. Слева шкала ординаты соответствует лезвию, справа — ножу. В процессе нож и лезвие не смогли срезать ствол, поэтому расход энергии был максимальным на данном режиме, но не приводил к срезанию. Так как время работы ротора с ножом в данном режиме 7 с, а лезвия 20 с, то для того, чтобы сопоставить работу, используем коэффициент, равный 2,857. После пересчета получим $A_{рез_Нож_min_d3} = 1543,11$ Дж, для шарнирно-сочлененного лезвия $A_{рез_Лезв_min_d3} = 144,32$ Дж.

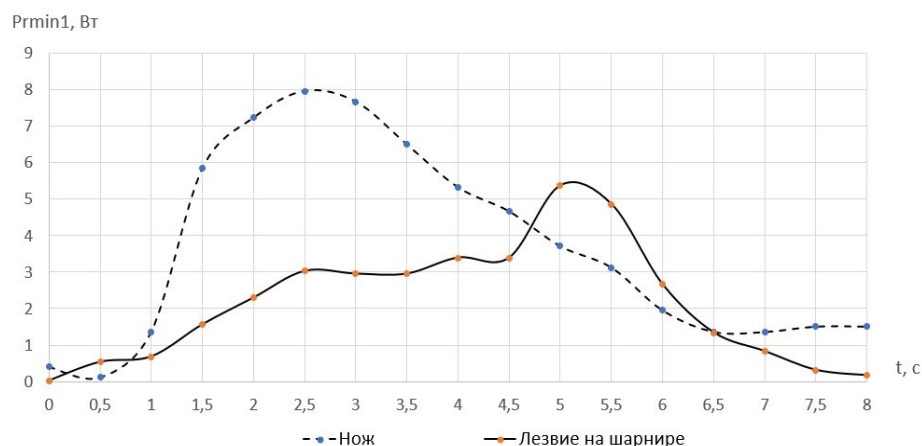


Рис. 5. Мощность резания для режима $U_{с} = 110$ В, $d_{в} = 1$ см, $W_{в} = 11$ %

B	C	D	E	F	G	H
t	t uni-t, ч.м.с	Рнорм, Вт	Р, Вт	Uunit-t, мВ	Усети, В	Анорм, Дж
0	10:48:11	0,413	103,913	14,17	110	2*(B7-B6)
0,5	10:48:12	0,120	103,620	14,13	110	0,372
1	10:48:12	1,367	104,867	14,3	110	1,802
1,5	10:48:13	5,840	109,340	14,91	110	3,268
2	10:48:13	7,233	110,733	15,1	110	3,800
2,5	10:48:14	7,967	111,467	15,2	110	3,910
3	10:48:14	7,673	111,173	15,16	110	3,543
3,5	10:48:15	6,500	110,000	15	110	2,957
4	10:48:15	5,327	108,827	14,84	110	2,498
4,5	10:48:16	4,667	108,167	14,75	110	2,095
5	10:48:16	3,713	107,213	14,62	110	1,710
5,5	10:48:17	3,127	106,627	14,54	110	1,270
6	10:48:17	1,953	105,453	14,38	110	0,830
6,5	10:48:18	1,367	104,867	14,3	110	0,683
7	10:48:18	1,367	104,867	14,3	110	0,720
7,5	10:48:19	1,513	105,013	14,32	110	0,757
8	10:48:19	1,513	105,013	14,32	110	
Сумма						30,348

Рис. 6. Расчет работы резания дня ножа при $U_c = 110$ В, $d_v = 1$ см, $W_v = 11$ %

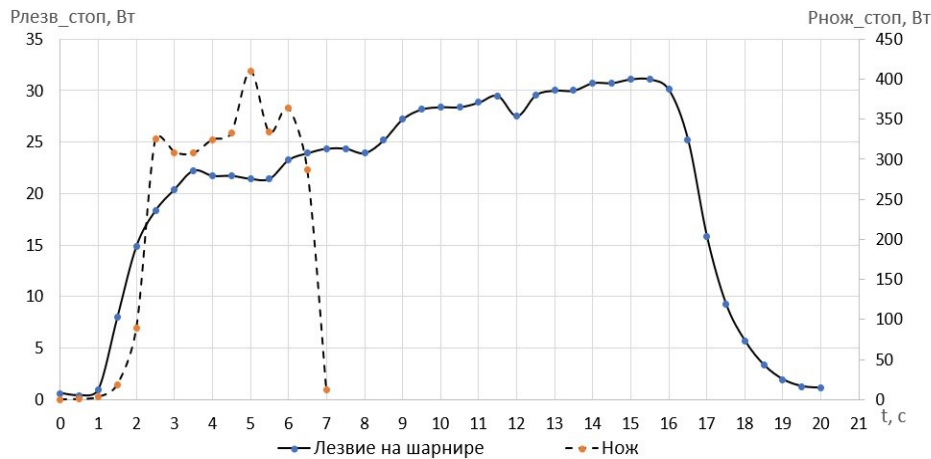


Рис. 7. Мощность резания для режима $U_c = 110$ В, $d_v = 3$ см, $W_v = 92$ %

На основании расчета установлено, что при срезании отдельных ветвей у шарнирно-сочлененного и ножевого рабочих органов затраты работы отличаются на величину 5...10 %. Это связано с тем, что из накопленной силы инерции расходуется малая часть,

и ротор быстро ее восполняет. В случае постоянного расхода, когда режущий элемент ударяет о ветвь, не может ее срезать и снова ударяет, разница между ножевым и шарнирно-сочлененным рабочим органом достигает 43 %.

Таблица 1. Результаты расчета работы резания ветвей ротором с ножевым и шарнирно-сочлененным рабочим органом

Шифр режима	$A_{рез}, Дж$	$P_x, Вт$	$t, с$	$A_x, Дж$	$A_{рез}+A_x, Дж$	Разница, %
Нож_min_d1	32,03	129	8	1 032	1 064,03	9,6
Лезв_min_d1	17,94	118	8	944	961,94	
Нож_max_d1	18,21	287	6	1 722	1 740,21	6,14
Лезв_max_d1	19,21	269	6	1 614	1 633,21	
Нож_min_d1,5	26,57	129	7	903	929,57	4,8
Лезв_min_d1,5	148,97	118	7	826	974,97	
Нож_min_d3_c	1 543,11	287	7	2 009	3 552,11	42,9
Лезв_min_d3_c	144,32	269	7	1 883	2 027,32	

Таблица 2. Результаты расчета работы ротора при разгоне с ножевым и шарнирно-сочлененным рабочим органом

Шифр режима	$P_{\text{пик}}, \text{Вт}$	$P_x, \text{Вт}$	$A_{\text{рез}}, \text{Дж}$	$t, \text{с}$	Разница, %
Нож_min	239	129	710	5	27
Лезв_min	208	118	559	5	
Нож_max	991	287	1 763	5	54
Лезв_max	511	269	1 145	5	

Выводы

1. При срезании отдельных ветвей у шарнирно-сочлененного и ножевого рабочих органов затраты работы отличаются на величину 5...10 %. Работа резания отдельно стоящих ветвей на минимальных оборотах находится в пределах 960...1062 Дж, на максимальных оборотах — в пределах 1600...2500 Дж.

2. При разгоне пиковые значения мощности резания составляют $P_{\text{пикНож_min}} = 239$ Вт, $P_{\text{пикЛезв_min}} = 208$ Вт, $P_{\text{пикНож_max}} = 991$ Вт, $P_{\text{пикЛезв_max}} = 511$, а разница в работе резания для минимальных оборотов

($U_c = 110$ В) составляет 27 %, а для максимальных оборотов ($U_c = 210$ В) — 58 %.

3. При резании ротором с ножевым рабочим органом, как правило, происходит раскол места среза, что связано с изогнутой формой на конце лезвия. При резании шарнирно-сочлененным рабочим органом срез гладкий, но при диаметрах ветвей 2...3 см происходит зажим лезвия и повышенные затраты энергии.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90029.

Литература

- Григорьев И.В., Григорьева О.И., Никифорова А.И., Куницкая О.А. Обоснование методики оценки экологической эффективности лесопользования // Вестн. КрасГАУ. 2012. № 6 (69). С. 72-77.
- Воронов Р.В., Марков О.Б., Григорьев И.В., Давтян А.Б. Математическая модель модульного принципа подбора системы машин для создания и эксплуатации лесных плантаций // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2019. № 5 (371). С. 125-134.
- Grigorev I., Ivanov V., Khitrov E., Kalistratov A., Bozhbov V. New approach for forest production stocktaking based on energy cost // 14th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2014. Sofia, 2014. P. 407-414.
- Grigorev I., Ivanov V., Gasparian G., Nikiforova A., Khitrov E. Softwood harvesting and processing problem in Russian Federation // 14th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2014. Sofia, 2014. P. 443-446.
- Давтян А.Б., Должиков И.С., Куницкая О.А. Обоснование систем машин для создания и эксплуатации энергетических лесных плантаций в различных природно-производственных условиях // Вестн. АГАТУ. 2022. № 4 (8). С. 49-94.
- Гаспарян Г.Д., Давтян А.Б. Цифровая платформа для создания лесных плантаций // Повышение эффективности лесного комплекса: материалы Шестой Всерос. нац. науч.-практической конф. с междунар. участием (22 мая 2020 г.). Петрозаводск, 2020. С. 42-43.
- Григорьева О.И. Новая машина для проведения рубок ухода за лесом // Актуальные направления науч. исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 2-2 (13-2). С. 116-119.
- Григорьева О.И. Перспективные направления повышения эффективности проведения рубок ухода за лесом // Повышение эффективности лесного комплекса: материалы Третьей Всерос. науч.-практической конф. с междунар. участием (30 мая 2017 г.). Петрозаводск, 2017. С. 56-58.
- Давтян А.Б., Гаспарян Г.Д. Одномашинный комплекс для создания и эксплуатации энергетических лесных плантаций // Повышение эффективности лесного комплекса: материалы Шестой Всерос. нац. науч.-практической конф. с междунар. участием (22 мая 2020 г.). Петрозаводск, 2020. С. 40-41.
- Давтян А.Б. Особенности оценки оптимальности компоновки систем машин для создания и эксплуатации энергетических лесных плантаций // Повышение эффективности лесного комплекса: материалы Пятой Всерос. нац. науч.-практической конф. с междунар. участием (22 мая 2019 г.). Петрозаводск, 2019. С. 31-32.
- Александров И.К., Григорьев И.В., Иванов В.А., Елизаров Ю.М., Чуднов Ю.Н. Методика определения топливной экономичности бензомоторных пил // Вестн. КрасГАУ. 2010. № 2 (41). С. 112-117.
- Григорьев И.В., Иванов В.А., Вернер Н.Н., Елизаров Ю.М., Чуднов Ю.Н. Влияние качества изготовления пильных цепей на энергетическую эффективность процесса пиления // Вестн. КрасГАУ. 2011. № 4 (55). С. 140-144.
- Григорьев И.В., Никифорова А.И., Хахина А.М. Новые технические решения для повышения эффективности лесосечных работ // Вестн. Московского гос. ун-та леса. Лесной вестн. 2013. № 1. С. 46-49.
- Тамби А.А., Григорьев И.В. Технологии производства и ремонта дереворежущего инструмента // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2018. № 6. С. 6-12.
- Тихонов И.И., Григорьев И.В., Никифорова А.И. Заготовка и переработка низкотоварной древесины на щепу в условиях лесосеки // Актуальные направления науч. исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 5-4 (10-4). С. 337-341.
- Родионов В.Е., Дербин М.В., Удальцов В.Н., Савенков Д.А., Серёдкина В.С., Григорьев И.В. Установка для исследования усилия бесстружечного резания упакованных отходов лесозаготовок криволинейными режущими кромками // Системы. Методы. Технологии. 2018. № 2 (38). С. 100-104.
- Григорьев И.В., Тарабан М.В., Вернер Н.Н. Методика расчета трещиностойкости пильных цепей // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2007. № 20. С. 91-94.
- Григорьев И.В., Вернер Н.Н. Расчет надежности пильных цепей // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2008. № 185. С. 100-109.
- Григорьев И.В., Пудова Т.М., Лебедев В.И. Экономика использования бензиномоторных пил на рубках ухода за лесом // Потенциал науки и образования: современные исследования в области агрономии, землеустройства, лесного хозяйства: сб. тр. конф. (20 марта 2019 г.). Якутск, 2019. С. 37-41.
- Григорьев И.В. Пиление древесины цепными пилами // ЛесПромИнформ. 2014. № 4 (102). С. 88-92.

References

1. Grigor'ev I.V., Grigor'eva O.I., Nikiforova A.I., Kunickaya O.A. Substantiation of the methodology for assessing the ecological efficiency of forest management // The Bulletin of KrasGAU. 2012. № 6 (69). P. 72-77.
2. Voronov R.V., Markov O.B., Grigor'ev I.V., Davtyan A.B. Mathematical model of the modular principle of selecting a system of machines for the creation and operation of forest plantations // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2019. № 5 (371). P. 125-134.
3. Grigorev I., Ivanov V., Khitrov E., Kalistratov A., Bozhbov V. New approach for forest production stocktaking based on energy cost // 14th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2014. Sofia, 2014. P. 407-414.
4. Grigorev I., Ivanov V., Gasparian G., Nikiforova A., Khitrov E. Softwood harvesting and processing problem in Russian Federation // 14th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2014. Sofia, 2014. P. 443-446.
5. Davtyan A.B., Dolzhikov I.S., Kunickaya O.A. Justification of a system of machines for the creation and operation of energy forest plantations in various natural production conditions // Vestnik ASAU (Scientific journal of Arctic State Agrotechnological University). 2022. № 4 (8). P. 49-94.
6. Gasparyan G.D., Davtyan A.B. Digital platform for the creation of forest plantations // Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa: materialy SHestoj Vseros. nac. nauch.-prakticheskoy konf. s mezhdunar. uchastiem (22 maya 2020 g.). Petrozavodsk, 2020. P. 42-43.
7. Grigor'eva O.I. A new machine for logging forest care // Current Directions of Scientific Research of the XXI Century: theory and practice. 2015. V. 3. № 2-2 (13-2). P. 116-119.
8. Grigor'eva O.I. Promising directions for improving the efficiency of logging of forest care // Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa: materialy Tret'ej Vseros. nac. nauch.-prakticheskoy konf. s mezhdunar. uchastiem (30 maya 2017 g.). Petrozavodsk, 2017. P. 56-58.
9. Davtyan A.B., Gasparyan G.D. Single-machine complex for the creation and operation of energy forest plantations // Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa: materialy SHestoj Vseros. nac. nauch.-prakticheskoy konf. s mezhdunar. uchastiem (22 maya 2020 g.). Petrozavodsk, 2020. P. 40-41.
10. Davtyan A.B. Features of assessing the optimality of the layout of machine systems for the creation and operation of energy forest plantations // Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa: materialy Pyatoy Vseros. nac. nauch.-prakticheskoy konf. s mezhdunar. uchastiem (22 maya 2019 g.). Petrozavodsk, 2019. P. 31-32.
11. Aleksandrov I.K., Grigor'ev I.V., Ivanov V.A., Elizarov YU.M., CHudnov YU.N. Methodology for determining fuel efficiency of gasoline-powered saws // The Bulletin of KrasGAU. 2010. № 2 (41). P. 112-117.
12. Grigor'ev I.V., Ivanov V.A., Verner N.N., Elizarov YU.M., CHudnov YU.N. The influence of the manufacturing quality of saw chains on the energy efficiency of the sawing process // The Bulletin of KrasGAU. 2011. № 4 (55). P. 140-144.
13. Grigor'ev I.V., Nikiforova A.I., Hahina A.M. New technical solutions to improve the efficiency of logging operations // Moscow state forest university bulletin - Lesnoy vestnik. 2013. № 1. P. 46-49.
14. Tambi A.A., Grigor'ev I.V. Technologies of production and repair of wood-cutting tools // Remont, Vosstanovlenie, Modernizatsiya (Repair, Reconditioning, Modernization). 2018. № 6. P. 6-12.
15. Tihonov I.I., Grigor'ev I.V., Nikiforova A.I. Harvesting and processing of low-grade wood for wood chips in a cutting area // Current Directions of Scientific Research of the XXI Century: theory and practice. 2014. V. 2. № 5-4 (10-4). P. 337-341.
16. Rodionov V.E., Derbin M.V., Udalcov V.N., Savenkov D.A., Seryodkina V.S., Grigor'ev I.V. Installation for studying the efforts of chipless cutting of packaged logging waste with curved cutting edges // Systems. Methods. Technologies. 2018. № 2 (38). P. 100-104.
17. Grigor'ev I.V., Taraban M.V., Verner N.N. Methodology for calculating the crack resistance of saw chains // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa. 2007. № 20. P. 91-94.
18. Grigor'ev I.V., Verner N.N. Calculation of the reliability of saw chains // Izvestia SPbLTA. 2008. № 185. P. 100-109.
19. Grigor'ev I.V., Pudova T.M., Lebedev V.I. The economics of using gasoline-powered saws in logging of forest care // Potencial nauki i obrazovaniya: sovremennye issledovaniya v oblasti agronomii, zemleustrojstva, lesnogo hozyajstva: sb. tr. konf. (20 marta 2019 g.). Yakutsk, 2019. P. 37-41.
20. Grigor'ev I.V. Sawing wood with chain saws // LesPromInform. 2014. № 4 (102). P. 88-92.