

УДК 630*36/37:630.383(047.31)
DOI: 10.37482/0536-1036-2021-2-130-142

МОЩНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УЗЛОВ МУЛЬЧЕРА ПРИ УДАЛЕНИИ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

С.Е. Арико¹, канд. техн. наук, доц.; ResearcherID: AAK-2167-2020,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6812-8842>

С.А. Войнаш², инж.; ResearcherID: AAK-2987-2020,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5239-9883>

Д.А. Кононович¹, аспирант; ResearcherID: AAK-2583-2020,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6947-0674>

В.А. Соколова³, канд. техн. наук, доц.; ResearcherID: AAK-6062-2020,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6880-445X>

¹Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, д. 13а, Минск, Республика Беларусь, 220006; e-mail: sergeyariko@mail.ru, denkon_92@mail.ru

²Новосибирский государственный аграрный университет, ул. Добролюбова, д. 160, г. Новосибирск, Россия, 630039; e-mail: sergey_voi@mail.ru

³Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021; e-mail: sokolova_vika@inbox.ru

Аннотация. В последние годы на предприятиях лесного хозяйства и энергетики Республики Беларусь и других стран широко внедряются перспективные фрезерные орудия, предназначенные для измельчения древесины, пней и корней без погружения фрезы в почву (мульчеры) и с погружением (ротоваторы), что позволяет подготовить землю под посадку лесных культур. Они могут агрегатироваться на универсально-пропашных тракторах, погрузчиках, экскаваторах. При этом отсутствуют методики, позволяющие осуществлять обоснованный выбор технологического оборудования под конкретную базовую машину, так как на возникающие силовые и мощностные параметры оказывает влияние значительное количество производственно-технологических и технических факторов. Предложенная методика дает возможность учитывать значительное количество изменяемых величин (приемы работы, скорости выполнения различных операций, параметры рабочего органа, его привода и базового шасси, почвогрунтовые условия и др.) и моделировать процесс взаимодействия фрезерных орудий при различных условиях эксплуатации. Установлено, что наибольшие нагрузки на ротор мульчера приходятся в процессе валки древесно-кустарниковой растительности, что связано с увеличением площади взаимодействия резцов с древесиной до 2 раз в сравнении с измельчением аналогичного лежащего древостоя. Данное значение, в зависимости от диаметра обрабатываемых стволов, может быть снижено на 15–30 %. При этом в случае значительного количества (скопления) древостоя диаметром более 10 см предпочтительны осуществление работ на скорости около 0,2 м/с или предварительная валка данных деревьев. Для снижения динамических нагрузок и лучшей приспособляемости рабочего оборудования к природно-производственным условиям (возможность осуществления работ на скорости от 0 до 5 км/ч) перспективным является применение гидроумышителей хода или гидрообъемной трансмиссии. Необходимо учитывать, что установленную для привода фрезерного оборудования мощность двигателя следует увеличить на 10–15 % в связи с потребностями привода различного оборудования, расположенного на базовом шасси. Также в случае комплексного использования древесно-кустарниковой растительности возможно применение мульчеров, осуществляющих сбор биомассы, однако это потребует дополнительных затрат энергии. В связи с этим методика может быть

применена при выборе параметров технологического оборудования под имеющееся базовое шасси, решении обратной задачи, а также осуществлении выбора режима эксплуатации фрезерного оборудования в зависимости от природно-производственных условий с возможностью последующего прогнозирования эффективности выполняемых работ.

Для цитирования: Арико С.Е., Войнаш С.А., Кононович Д.А., Соколова В.А. Мощностные характеристики узлов мульчера при удалении древесно-кустарниковой растительности // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 2. С. 130–142. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-2-130-142

Ключевые слова: лесовосстановление, измельчение древесно-кустарниковой растительности, фрезерное орудие, мульчер, базовое шасси, условия эксплуатации.

Введение

В настоящее время в лесной отрасли широко внедряются различные фрезерные орудия. Они осуществляют как измельчение древесно-кустарниковой растительности, так и фрезерование почвы с одновременным измельчением пней и корней [2, 4], а также позволяют создавать противопожарные полосы, в том числе в ночное время суток [19]. При проведении лесовосстановления и реконструкции лесонасаждений, кроме применения традиционных лесных машин (харвестеров и форвардеров, машин для транспортировки лесосечных отходов) [4, 6, 22] с последующим удалением пней и корней корчевателями различной конструкции [3, 5, 10], перспективным является применение мульчиров и ротоваторов [1, 8, 12], которые требуют значительных затрат мощности на их привод. В связи с этим целью исследований является изучение влияния различных природно-производственных факторов на выбор параметров технологического оборудования [15, 21], базового шасси [11] и их надежность [18, 20]. В настоящий момент отсутствуют методики и рекомендации, позволяющие производить расчет фрезерного оборудования для имеющегося базового шасси или решать обратную задачу, в том числе на основе математического моделирования [11, 13].

Учитывая преимущественное распространение фрезерных орудий при измельчении древесно-кустарниковой растительности необходимым является рассмотрение двух наиболее характерных расчетных случаев работы мульчера: в режиме валки древесно-кустарниковой растительности и ее измельчения без погружения в землю [2]. При этом разработанная методика исследования позволяет учитывать не только заявленные технические характеристики производителей данного технологического оборудования и базовых шасси, но и условия эксплуатации (почвогрунтовые условия, параметры древесно-кустарниковой растительности, технологию проведения работ и др.).

Объекты и методы исследования

Анализ технологий и конструкций техники для расчистки лесных площадей от древесно-кустарниковой растительности [3, 5, 9] показал перспективность использования для этих целей кусторезных машин с активными рабочими органами. Среди них следует выделить кусторезные машины роторного типа с неподвижными и шарнирно закрепленными ножами, которые осуществляют срезание по принципу ударно-силового резания за счет энергии вращающегося

ротора [18]. Существенное преимущество данных машин, в сравнении с другими – это способность одним рабочим органом не только срезать, но и частично измельчать древесно-кустарниковую растительность. Принципы процесса ее срезания и измельчения мульчером являются аналогичными. В ходе изучения процессов валки и измельчения кустарника необходимым условием является определение силовых параметров, требуемых для реализации запланированного объема работ. Расчетная схема представлена на рис. 1.

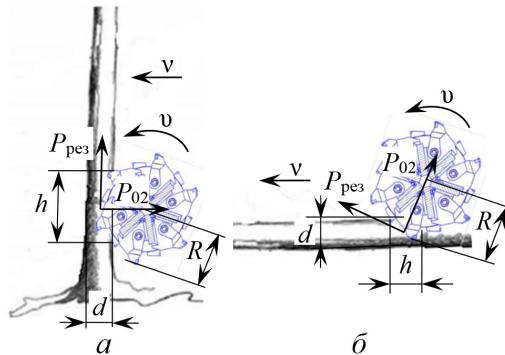


Рис. 1. Расчетные схемы работы фрезерного орудия при валке вертикально стоящего (а) и измельчении лежащего (б) деревьев

Fig. 1. Design schemes for operation of a milling tool when felling a vertically standing tree (a) and chopping a lying tree (b)

Следует отметить, что сопротивление резанию древесины (рис. 1) $P_{рез}$, Н, в общем случае зависит от удельной работы резания K , Дж/м³, высоты среза, или проекции длины резания на ось, нормальную к направлению резания, h , м, максимального диаметра обрабатываемого дерева d , м, скорости движения базового шасси (скорость подачи) v , м/с, и скорости резания υ , м/с. При проведении расчетных исследований данную величину можно найти по зависимости

$$P_{рез} = Khd \frac{v}{\upsilon}.$$

При этом удельная работа резания определяется по формуле [7]:

$$K = K_o \alpha_p \alpha_w \alpha_t \alpha_n,$$

где K_o – основное значение удельной работы резания, Дж/м³; α_p , α_w , α_t , α_n – поправочные коэффициенты, учитывающие затупление режущих ножей, влажность и породу обрабатываемого лесоматериала, температуру окружающей среды.

Основное значение удельной работы резания рассчитывается по эмпирической формуле, действительной для подачи c , м, на один зуб 0,05–0,70 мм:

$$K_o = \frac{36,5 \cdot 10^5}{c^{0,33}}.$$

Величина подачи на один зуб c , м, учитывает конструктивное исполнение рабочего органа (количество зубьев в одной плоскости z , шт.), а также ряд технических характеристик базового шасси: скорость движения шасси (подачи) и частоту вращения ротора n , об/мин:

$$c = \frac{60v}{zn}.$$

Кроме рассмотренных параметров на процесс взаимодействия технологического оборудования с древесно-кустарниковой растительностью оказывают влияние радиус ротора R , м, который является одной из составляющих при

определении скорости резания, и высота среза, или проекция длины резания на ось, нормальную к направлению резания:

$$v = \frac{\pi n R}{30};$$

$$h = 2\sqrt{2Rd - d^2}.$$

Однако данные зависимости справедливы при рассмотрении процесса резания (валки) вертикально стоящего кустарника, в случае измельчения горизонтально расположенного (лежащего) кустарника значение высоты среза h , м, будет соответствовать диаметру обрабатываемого лесоматериала d , м ($h = d$).

При расчетах следует также учитывать, что при работе технологического оборудования существует необходимость измельчения скоплений мелких деревьев или кустарника, состоящих из 2–5 стволов $n_{ств}$, шт. Кроме того, большинство современных мульчеров имеют от 42 до 56 подвижных или неподвижных резцов (зубьев), из которых с измельчаемой древесиной одновременно взаимодействует $z_{рез}$, шт.:

$$z_{рез} = \frac{z_{общ} dn_{ств} \varphi}{2\pi B},$$

где $z_{общ}$ – общее количество резцов, шт.; φ – угол контакта (взаимодействия) рабочего органа с лесоматериалом, рад; B – рабочая ширина ротора, м.

Тогда выражение для определения усилия резания $P_{рез}$, Н, примет вид

$$P_{рез} = K h b_{рез} z_{рез} \frac{v}{v},$$

где ширина резца b , м, может задаваться исходя из имеющейся номенклатуры резцов или теоретически по выражению

$$b_{рез} = \frac{Bz}{z_{общ}}.$$

На количество одновременно взаимодействующих с древесиной резцов оказывают влияние вид и технология проведения работ. При этом угол контакта (взаимодействия) рабочего органа с лесоматериалом φ , рад, определяется:

при валке вертикально стоящих деревьев

$$\varphi = 2 \arccos \left(\frac{R-d}{R} \right);$$

при измельчении лежащего древостоя и кустарника

$$\varphi = \arccos \left(\frac{R-d}{R} \right).$$

Так, валка вертикально стоящих деревьев и кустарника приводит к двукратному росту числа резцов в резе, а также увеличивает высоту среза, что значительно повышает требуемое усилие резания и мощность, необходимую для привода технологического оборудования.

Для снижения данного негативного эффекта мульчеры оснащаются толкателем (рис. 2). Это обеспечивает создание предварительного натяжения волокон обрабатываемого древостоя и уменьшает удельные сопротивления резанию на 20–30 %, а также позволяет рассматривать процесс валки древесно-кустарниковой растительности, ввиду наклона стволовой части, подверженной воздействию резцов, как процесс измельчения лежащей древесины.



Рис. 2. Мульчер с толкателем
Fig. 2. Mulcher with a pusher

Кроме усилия резания в процессе взаимодействия режущего органа с обрабатываемым материалом возникает сила отжима P_{02} , определяемая как

$$P_{02} = \alpha_o P_{рез},$$

где α_o – коэффициент, зависящий от формы и степени затупления зубьев.

Данная величина оказывает существенное влияние на сопротивление перемещению шасси. При этом в случае рассмотрения процесса валки горизонтальная составляющая сопротивления движению шасси от процесса резания P_x соответствует значению P_{02} ($P_x = P_{02}$). При измельчении горизонтально расположенной (лежащей) древесно-кустарниковой растительности:

$$P_x = P_{02} \sin(\varphi/2) - P_{рез} \cos(\varphi/2).$$

Рассматривая процесс работы фрезерного орудия, общее сопротивление перемещению базового шасси $P_{ш}$, Н, можно найти по выражению

$$P_{ш} = P_x + G_p (\mu_{ct} + i) + G_{ш} (f + i),$$

где G_p – вес рабочего (технологического) оборудования, Н; μ_{ct} – коэффициент скольжения технологического оборудования по грунту; i – уклон местности; $G_{ш}$ – вес базового шасси, Н; f – коэффициент сопротивления качению.

При этом мощность двигателя, требуемая для реализации технологического процесса:

$$N_{дв} = N_{рез} + N_{отб} + N_{пр} + N_{пер} + N_{тр},$$

где $N_{рез}$, $N_{отб}$, $N_{пр}$, $N_{пер}$, $N_{тр}$ – мощности, затрачиваемые на резание (при валке или измельчении древесно-кустарниковой растительности), отбрасывание мульчи (стружки), преодоление горизонтальной составляющей силы прижатия фрезы, перемещение базового шасси, преодоление сил трения в приводе рабочего органа, Вт, соответственно.

Значительное влияние на затраты мощности оказывает скорость резания v , прямо пропорционально которой изменяются мощности, затрачиваемые на резание $N_{рез}$ и отбрасывание мульчи $N_{отб}$, и косвенно – мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения в приводе рабочего органа $N_{тр}$, определяющиеся по выражениям:

$$N_{рез} = P_{рез} v;$$

$$N_{отб} = P_{отб} v;$$

$$N_{тр} = (1 - \eta)(N_{рез} + N_{отб} + N_{пр}),$$

где $P_{отб}$ – сопротивление отбрасыванию стружки, Н; η – КПД привода орудия.

Возникает сопротивление отбрасыванию стружки $P_{\text{отб}}$, Н:

$$P_{\text{отб}} = 0,5 K_{\text{отб}}^2 chd\rho v,$$

где $K_{\text{отб}}$ – коэффициент отбрасывания; ρ – плотность древесины, кг/м³.

От скорости движения базового шасси зависят мощности, затрачиваемые на преодоление горизонтальной составляющей силы прижатия фрезы $N_{\text{пп}}$, Вт, а также на перемещение шасси $N_{\text{пер}}$, Вт, определяемые по выражениям:

$$N_{\text{пп}} = P_x v;$$

$$N_{\text{пер}} = P_{\text{ш}} v.$$

Результаты исследования и их обсуждение

Первоочередное внимание следует уделить сравнению возникающих силовых и мощностных параметров [17] при различных способах осуществления измельчения древесно-кустарниковой растительности (рис. 3). Для этого рассмотрим процессы валки и измельчения отдельно стоящих деревьев и их скоплений из 3–5 шт. диаметром 3…20 см, что позволит смоделировать различные лесорастительные условия. При этом процесс выполнения технологических операций рассматривался при скорости движения базового шасси до 5 км/ч (при рекомендуемой многими производителями 0,2–2 км/ч), частоте вращения ротора 1000 об/мин, имеющего рабочую ширину 2,0 м, диаметр – 55 см и оснащенного 48 неподвижными резцами. Вес технологического оборудования составлял 16 кН. В качестве базового шасси рассмотрим широко применяемый в лесном хозяйстве трактор «Беларус Л1221-03», оснащенный реверсивным постом управления и имеющий вес 56 кН.

В соответствии с проведенными исследованиями (рис. 3) установлено, что на затраты мощности при осуществлении валки и измельчения древесно-кустарниковой растительности существенное влияние оказывают как диаметр обрабатываемого дерева, так и скорость движения базового шасси.

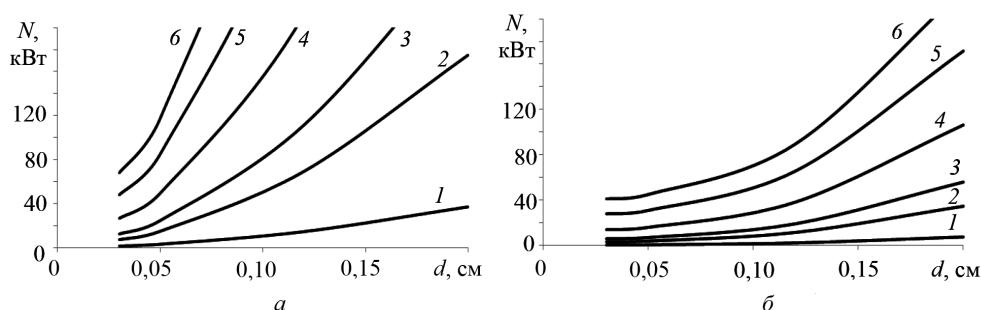


Рис. 3. Исследование влияния диаметра древостоя и скорости движения базового шасси (1 – 0,01, 2 – 0,1, 3 – 0,2, 4 – 0,5, 5 – 1,0, 6 – 1,5 м/с) на потребляемую мощность двигателя при валке (а) и измельчении (б) древесно-кустарниковой растительности

Fig. 3. Study of the influence of the stand diameter and the movement speed of the chassis (1 – 0.01, 2 – 0.1, 3 – 0.2, 4 – 0.5, 5 – 1.0, 6 – 1.5 m/s) on the engine power consumption during felling (a) and chopping (б) of tree and shrub vegetation

При этом следует отметить, что применение в качестве базового шасси трактора «Беларус Л1221-03», имеющего мощность двигателя 95,6 кВт, обеспечивает валку отдельностоящих деревьев диаметром до 15 см при скорости движе-

ния около 0,4 км/ч, а диаметром 10 см – 0,7 км/ч. Обработка древостоя большого диаметра может осуществляться на заданных скоростях при использовании толкающей рамы или за счет понижения скорости движения трактора. Данная машина выполняет достаточно эффективное измельчение древесно-кустарниковой растительности. Так, измельчение отдельно уложенных деревьев диаметром до 12 см может производиться на скорости около 5 км/ч, что позволяет применять на данных работах трактор без ходоуменьшителя.

При осуществлении мульчирования лесных площадей зачастую встречаются скопления из нескольких деревьев (рис. 4). При этом фрезерным оборудованием с трактором Л1221-03 можно эффективно выполнять измельчение кустарника диаметром до 7 см при скоплениях стволов вдоль рабочего органа не более 10 шт. на скорости до 2 км/ч. Однако при аналогичных скорости и параметрах кустарника фрезерное орудие в режиме валки с использованием толкателя может эффективно обрабатывать лишь один ствол.

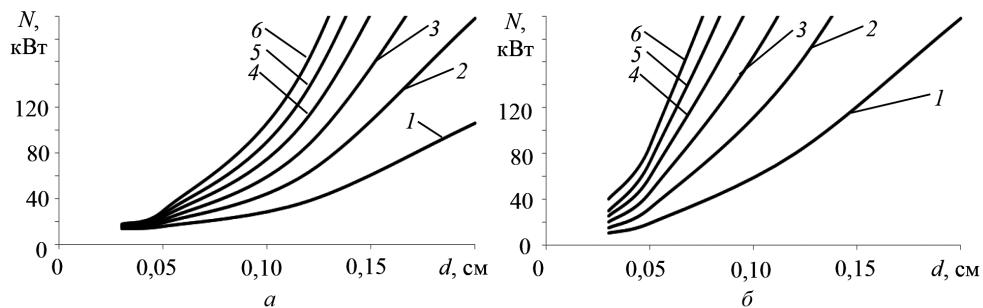


Рис. 4. Исследование влияния диаметра и количества стволов древостоя (1 – 1, 2 – 2, 3 – 3, 4 – 4, 5 – 5, 6 – 6 стволов) на потребляемую мощность двигателя при измельчении (а) и валке (б) древесно-кустарниковой растительности

Fig. 4. Study of the influence of the diameter and number of stand trunks (1 – 1, 2 – 2, 3 – 3, 4 – 4, 5 – 5, 6 – 6 trunks) on the engine power consumption during chopping (a) and felling (б) tree and shrub vegetation

При снижении скорости движения до 0,72 км/ч (0,2 м/с) оборудование сможет осуществлять валку 2 деревьев диаметром около 10 см или скопления из 7 деревьев диаметром 5 см. При этом в случае наклона дерева в сторону движения базового шасси за счет изменения пространственного положения древесно-кустарниковой растительности и создания предварительного натяга волокон древесины в зоне работы фрезерного оборудования затраты мощности в процессе валки данной растительности будут отличаться от затрат на ее измельчение не более чем на 30 %, а при диаметре до 10 см – не более чем на 15 %. Учитывая, что преобладающий объем удаляемого кустарника имеет диаметр до 10 см, использование в качестве базового шасси трактора «Беларус Л1221-03» позволяет эффективно осуществлять расчистку площадей от древесно-кустарниковой растительности на скорости до 1 км/ч (до 0,3 м/с).

Однако при этом следует учесть тот факт, что с увеличением скорости выполняемых операций изменяется соотношение затрат мощности на привод технологического оборудования и на осуществление перемещения базового шасси, что необходимо учитывать при выборе как параметров технологическо-

го оборудования, так и базового шасси. Это связано с тем, что ряд производителей не допускает использования более 70 % заявленной мощности устанавливаемого двигателя на привод вала отбора мощности. Специализированное шасси позволяет реализовывать около 90 % мощности двигателя. При этом использование вместо механического привода технологического гидравлического оборудования также требует повышения потребляемой мощности на 14–21 %, что связано с понижением коэффициента полезного действия. Однако данный недостаток может быть частично компенсирован за счет повышения коэффициента использования двигателя по мощности, а также обеспечения реверсивности движения ротора, что позволяет сократить затраты времени на его расклинивание при попадании значительного объема измельчаемого материала между ротором и корпусом или капотом фрезерного орудия. Применение данного типа привода облегчает процесс агрегатирования технологического оборудования на погрузчиках, экскаваторах и другой технике, обеспечивает снижение динамических нагрузок на двигатель. При этом предъявляются меньшие требования к навесной системе ввиду отсутствия карданной передачи, применение которой ограничивает высоту подъема технологического оборудования при его работе [14, 16].

Чтобы оценить влияние других факторов на требуемую мощность базового шасси, рассмотрим процесс измельчения древесно-кустарниковой растительности диаметром 10 см при скорости движения шасси 0,2 м/с. Учитывая, что рабочая ширина ротора косвенно влияет на возникающее сопротивление, для адекватной оценки влияния данного фактора вместо количества одновременно обрабатываемых стволов будем брать в расчет количество стволов, приходящихся на 1 м рабочей длины. Примем 4 ствола на 1 м рабочей длины. Пропорционально увеличению ширины рабочего органа необходимо повышать общее число резцов, так как у образцов большинства производителей количество рядов резцов влияет на ширину.

Результаты исследований (см. таблицу) показывают, что увеличение ширины на 50 см требует повышения мощности двигателя на 9,8 кВт для заданных параметров древостоя (при среднем диаметре обрабатываемого кустарника 12 см прирост мощности должен составлять порядка 15,5 кВт).

Влияние ширины рабочего органа и числа резцов на требуемую мощность

B , мм	z , шт	$n_{\text{ств}}$, шт	N , кВт	Δ , %
2000	48	8	83,8	100
2250	52	9	93,6	112
2500	56	10	103,4	123

Также было установлено, что на затраты мощности существенное влияние оказывает не количество резцов, а ширина резания (взаимодействия), которая зависит от ширины непосредственно используемой поверхности рабочего органа, количества и диаметра обрабатываемых стволов. Опыт эксплуатации данного оборудования показывает, что увеличение количества резцов способствует снижению динамики процесса резания за счет смещения плоскостей, участвующих в работе, при этом сокращается нагрузка на отдельные резцы, повышая надежность орудия.

Следует также отметить, что при расчетах не учитывали изменение массы базового шасси, однако часто увеличение мощности на привод технологического оборудования требует использования базового шасси, имеющего больший вес, что потребует и больших затрат мощности на перемещение, которая также будет зависеть и от скорости перемещения машины. При работе на грунтах с хорошей несущей способностью увеличение массы, по сравнению с массой базового шасси «Беларус Л1221-03», на 1 т потребует повышения мощности на 1,5 кВт при рабочей скорости 0,5 м/с и на 4,8 кВт при скорости 1,5 м/с.

Заключение

При выборе оборудования и базового шасси первоочередное внимание следует уделить предполагаемому объему работ (площадь, параметры древостоя и др.), имеющемуся или планируемому парку машин, которые могут являться энергоносителем для фрезерных органов. При этом не следует стремиться устанавливать механизмы на базовое шасси с мощностью двигателя равной минимальному значению из диапазона, заявленного производителем технологического оборудования. Это приведет как к снижению производительности выполняемых работ, так и к увеличению затрат на ремонт, ввиду выхода из строя постоянно высоконагруженных элементов шасси.

Производители одни и те же устройства рекомендуют для установки на шасси, имеющие существенную разницу в своих характеристиках, в то время как требуемая мощность на привод фрезерных рабочих органов может отличаться в 2 раза. Это связано с тем, что рабочий процесс взаимодействия фрезерных орудий с древесно-кустарниковой растительностью является достаточно многофакторным. Проведенные исследования позволили установить, что на процесс удаления древесно-кустарниковой растительности и выбор параметров базового шасси наибольшее влияние оказывают: диаметр стволов, их количество, приходящееся на 1 м рабочей длины ротора, густота растительности, скорость движения базового шасси. В случае использования в качестве энергоснителя универсально-пропашных тракторов предпочтительным является наличие реверсивного поста управления и гидроумножителя хода. Это позволяет улучшить работу оператора, а также выбрать оптимальную скорость движения в заданных условиях эксплуатации, обеспечивая ее плавное изменение. При работе с кустарником, имеющим преобладающий диаметр около 7 см, эффективная скорость движения для трактора «Беларус Л1221-03» будет составлять 0,4–0,5 м/с, а единовременные незначительные перегрузки могут быть сглажены за счет инерционной массы ротора, а также за счет снижения скорости движения.

В соответствии с результатами расчетов установлено, что на мульчирование деревьев требуется в 1,7–2,1 раза меньше мощности, чем на их валку. Более равномерного распределения затрат мощности на валку и измельчение древесно-кустарниковой растительности можно достичь за счет оснащения мульчера толкателем. Это обеспечит предварительное натяжение волокон обрабатываемого древостоя и снизит удельные сопротивления резанию на 20–30 %, в том числе и за счет изменения пространственного положения ствола в процессе валки. В связи с этим при осуществлении уборки древесно-кустарниковой

растительности предпочтительна предварительная валка крупных деревьев, которые могут быть использованы для получения лесоматериала или в энергетических целях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Абдразаков Ф.К., Потапов И.Н., Мараев В.Н. Перспективные технологии и средства удаления древесно-кустарниковой растительности // Механизация строительства. 2007. № 4. С. 13–17. [Abdratzakov F.K., Potapov I.N., Marayev V.N. Promising Technologies and Means for Removing Tree and Shrub vegetation. *Mekhanizatsiya stroitel'stva* [Construction mechanization], 2007, no. 4, pp. 13–17].
2. Арико С.Е., Мохов С.П., Симанович В.А., Дудко Е.М. Применение фрезерного оборудования в лесном комплексе Республики Беларусь // Материалы Междунар. науч.-техн. конф. «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии». Могилев: БРУ, 2017. С. 197–198. Режим доступа: <http://e.biblio.bru.by/handle/12121212/4759> (дата обращения: 30.03.20). [Ariko S.Ye., Mokhov S.P., Simanovich V.A., Dudko Ye.M. The Use of Milling Equipment in the Forest Complex of the Republic of Belarus. *Proceedings of the International Scientific and Technical Conference “Materials, Equipment and Resource-Saving Technologies*. Mogilev, BRU Publ., 2017, pp. 197–198].
3. Арико С.Е., Симанович В.А., Мохов С.П., Голякевич С.А., Кононович Д.А., Дудко Е.М., Путрич А.Ю. Лесохозяйственная машина. Патент Республики Беларусь № 11798, 2018. [Ariko S.Ye., Simanovich V.A., Mokhov S.P., Golyakevich S.A., Kononovich D.A., Dudko Ye.M, Putrich A.Yu. *Forestry Machine*. Patent BY, no. 11798, 2018].
4. Асмоловский М.К., Жуков А.В., Лой В.Н. Механизация лесного и садово-паркового хозяйства. Минск: БГТУ, 2004, 506 с. [Asmolovskiy M.K., Zhukov A.V., Loy V.N. *Mechanization of Forestry and Landscape Gardening*. Minsk, BGTU P, 2004. 506 p.].
5. Войнаш С.А., Войнаш А.С. Система унифицированных машин на базе гусеничного форвардера LZ-5 // Строительные и дорожные машины. 2013. № 12. С. 6–9. [Voinash S.A., Voinash A.S. The System of Unified Vehicles Based on the Crawler Forwarder LZ-5. *Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny* [Construction and Road Building Machinery], 2013, no. 12, pp. 6–9].
6. Войнаш С.А., Кононович Д.А., Арико С.Е., Соколова В.А. Теоретические основы оценки эффективности применения машин для транспортировки лесосечных отходов // Сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. «Лесоэксплуатация и комплексное использование древесины». Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2020. С. 48–55. [Voinash S.A., Kononovich D.A., Ariko S.E., Sokolova V.A. Theoretical Bases of Evaluating the Efficiency of Using Machines for the Transportation of Logging Wastes. *Collection of Academic Papers of the All-Russian Scientific and Practical Conference “Forest Exploitation and Integrated Use of Wood”*. Krasnoyarsk, SibSAU Publ., 2020, pp. 48–55].
7. Глебов И.Т. Обработка древесины методом фрезерования. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2007, 192 с. Режим доступа: https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/3154/1/Glebov_Odrabotka_drevesiny_2007.pdf (дата обращения: 30.03.20). [Glebov I.T. *Wood Processing by Milling Method*. Yekaterinburg, USFEU Publ., 2007. 192 p.].
8. Ивашинев М.В., Шегельман И.Р. Технология защиты линий электропередачи от деревьев и кустарников с использованием кустореза с активным рабочим органом // Глобальный научный потенциал. 2012. № 4(13). С. 105–107. [Ivashnev M.V., Shegelman I.R. Technology for Protection of Power Transmissions from Trees and Bushes Using Brush Cutter with Active Working Body. *Global'nyy nauchnyy potentsial* [Global Scientific Potential], 2012, no. 4(13), pp. 105–107].

9. Наумов Е.С., Парфенов А.П., Шарипов В.М., Эглит И.М. Рабочее оборудование тракторов. М.: МАМИ, 1999, 89 с. [Naumov E.S., Parfenov A.P., Sharipov V.M., Eglit I.M. *Working Equipment of Tractors*. Moscow, MAMI Publ., 1999. 89 p.].
10. Орловский С.Н., Карнаухов А.И. Обоснование технологии применения и компоновки агрегата для понижения пней // Изв. вузов. Лесн. журн. 2017. № 3. С. 123–131. [Orlovskiy S.N., Karnaughov A.I. Application and Configuration Technology of the Stump Lowering Device. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2017, no. 3, pp. 123–131]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2017.3.123](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2017.3.123), URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/111/2_orlovskiy.pdf
11. Пешков А.А., Гордеев М.П., Сыроватский С.О. Проектирование 3D модели мульчера в системе CAD // Сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые ученые в решении актуальных проблем науки». Красноярск, СибГУ им. М.Ф. Решетнева. 2017. С. 496–498. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_36581367_12326028.pdf (дата обращения: 30.03.20). [Peshkov A.A., Gordeev M.P., Syrovatski S.O. The Construction of 3D Models Mulcher in the CAD System. *Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduate Students and Young Scientists "Young Scientists in Solving Urgent Problems of Science"*. Krasnoyarsk, SibSAU Publ., 2017, pp. 496–498].
12. Тикачев В. Мульчеры и измельчители пней // ЛесПромИнформ. 2010. № 4(70) С. 76–81. Режим доступа: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=1329> (дата обращения: 30.03.20). [Tikachev V. Mulchers and Stump Grinders. *LesPromInform*, 2010, no. 4(70), pp. 76–81].
13. Alekseeva S.V., Sokolova V.A., Markov V.A. Mathematical Modeling of One Type of Three-Link Robot Manipulator. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 421, iss. 4, art. 042005. DOI: [10.1088/1755-1315/421/4/042005](https://doi.org/10.1088/1755-1315/421/4/042005)
14. Arpit K., Satish M., Mukesh J. Performance Evaluation of Tractor PTO Operated Rotary Mulcher. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2018, vol. 7, iss. 6, pp. 1113–1115. DOI: [10.22271/phyto](https://doi.org/10.22271/phyto)
15. Čedík J., Pexa M., Pražan R., Kubín K., Vondřička J. Mulcher Energy Intensity Measurement in Dependence on Performance. *Agronomy Research*, 2015, vol. 13, no. 1, pp. 46–52.
16. Khafizov C.A., Khafizov R.N., Nurmiev A.A., Galiev I.G. Justification of the Optimal Annual Load on the Tractor Providing for Its Parameters Stress on the Formed Crop. *BIO Web of Conferences*, 2020, vol. 17, art. 00022. DOI: [10.1051/bioconf/20201700022](https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700022)
17. Kumhála F., Chyba J., Pexa M., Čedík J. Measurement of Mulcher Power Input in Relation to Yield. *Agronomy Research*, 2016, vol. 14, no. 4, pp. 1380–1385.
18. Ľuptáčiková V., Ľavodová M. Methods for Increasing the Material Resistance of the Mulching Tool Body Against Its Deformation in Operation. *Technological Engineering*, 2017, vol. XIV, no. 2/2017, pp. 17–20. DOI: [10.1515/teen-2017-0015](https://doi.org/10.1515/teen-2017-0015)
19. Savchenkova V.A., Korshunov N.A., Perminov A.V., Voinash S.A. The Problem of Fire Fighting during the Hours of Darkness. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 421, art. 062002. DOI: [10.1088/1755-1315/421/6/062002](https://doi.org/10.1088/1755-1315/421/6/062002)
20. Ľavodová M., Kalincová D., Kotus M., Pavlík L. The Possibility of Increasing the Wearing Resistance of Mulcher Tools. *Acta Technologica Agriculturae*, 2018, vol. 21, iss. 2, pp. 87–93. DOI: [10.2478/ata-2018-0016](https://doi.org/10.2478/ata-2018-0016)
21. Verma A., Singh Ar., Singh Am., Sidhu S.G., Dixit An. Performance Evaluation of Tractor Operated Paddy Straw Mulcher. *Journal of Krishi Vigyan*, 2016, vol. 4, iss. 2, pp. 70–75. DOI: [10.5958/2349-4433.2016.00016.7](https://doi.org/10.5958/2349-4433.2016.00016.7)

22. Zimelis A., Sisenis L., Sarmulis Z., Arikos S. Technology and Energy Balance in Stump Harvesting with MCR500. *Engineering for Rural Development*, 2018, pp. 1395–1400.
DOI: [10.22616/ERDEV2018.17.N162](https://doi.org/10.22616/ERDEV2018.17.N162)

POWER CHARACTERISTICS OF MULCHER JOINTS WHEN REMOVING TREE AND SHRUB VEGETATION

Sergey Ye. Arikos¹, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: [AAK-2167-2020](#),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6812-8842>

Sergey A. Voinash², Engineer; ResearcherID: [AAK-2987-2020](#),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5239-9883>

Denis A. Kononovich¹, Postgraduate Student; ResearcherID: [AAK-2583-2020](#),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6947-0674>

Viktoria A. Sokolova³, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.;
ResearcherID: [AAK-6062-2020](#), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6880-445X>

¹Belarusian State Technological University, ul. Sverdlova, 13a, Minsk, 220006, Republic of Belarus; e-mail: sergeyariko@mail.ru, denkon_92@mail.ru

²Novosibirsk State Agrarian University, ul. Dobrolyubova, 160, Novosibirsk, 630039, Russian Federation; e-mail: sergey_voi@mail.ru

³St. Petersburg State Forest Engineering University named after S.M. Kirov, Institutskiy per., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: sokolova_vika@inbox.ru

Abstract. In recent years, the enterprises of forestry and the Ministry of Energy of the Republic of Belarus and other countries widely implemented advanced milling tools designed to chop wood, stumps and roots without immersing the cutter in the soil (mulchers) and with immersion (rotovators), which allows you to prepare the ground for planting forest crops. They can be mounted on multi-purpose tractors, loaders and excavators. At the same time, there are no methods that allow carrying out a reasonable choice of technological equipment for a particular basic machine, since a significant number of production, technological and technical factors have an impact on the emerging power and capacity parameters. The proposed method allows taking into account a significant number of variable values (working methods, speeds of various operations, parameters of the working body, its drive and base chassis, soil conditions, etc.) and simulate the interaction of milling tools under various operating conditions. It was found that the greatest loads on the mulcher rotor occur during the felling of tree and shrub vegetation, which is associated with an increase in the area of interaction between the cutters and the wood up to 2 times compared with the chopping of similar lying stands. This value can be reduced by 15–30 % depending on the diameter of the trunks being processed. In the case of a significant amount (cluster) of forest stands with a diameter of more than 10 cm, it is preferable to carry out work at a speed of about 0.2 m/s or advanced felling of these trees. The use of hydraulic travel (speed) reducers or hydrostatic transmission is promising in order to reduce dynamic loads and get better adaptability of the working equipment to natural-production conditions (the ability to work at a speed from 0 to 5 km/h). It should be noted that the installed required engine power for the milling equipment drive should be increased by 10–15 % due to the needs of the drive of various equipment located on the base chassis. Also, in the case of the integrated use of tree and shrub vegetation, it is possible to use mulchers that collect biomass; however, this will require additional energy costs. In this regard, the method can be applied when choosing the parameters of technological

equipment for the existing base chassis, to solve the inverse problem, and also to select the operating mode of the milling equipment depending on the natural and production conditions with the possibility of subsequent prediction of the effectiveness of the work performed.

For citation: Arikh S.Ye., Voinash S.A., Kononovich D.A., Sokolova V.A. Power Characteristics of Mulcher Joints When Removing Tree and Shrub Vegetation. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2021, no. 2, pp. 130–142. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-2-130-142

Keywords: reforestation, chopping of tree and shrub vegetation, milling tool, mulcher, base chassis, exploitation conditions.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
The authors declare that there is no conflict of interest

Поступила 30.03.20 / Received on March 30, 2020
