

УДК 634.0.36

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.135

ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МАЛОЦЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ РУБКАХ УХОДА

С.Н. Орловский, канд. техн. наук, доц.

Красноярский государственный аграрный университет, пр. Мира, д. 90, г. Красноярск, Россия, 660049; e-mail:orlovskiysergey@mail.ru

Актуальной проблемой лесного хозяйства является измельчение малоценных деревьев при рубках ухода за лесом, обрезке зеленых насаждений, очистке лож затопляемых водохранилищ гидроэлектростанций. В связи с тем, что экономическая эффективность данных мероприятий зависит от реализации древесины, измельчению древесины уделяется мало внимания. При рубках ухода в основном используется существующая лесозаготовительная техника. Обрезка зеленых насаждений, как правило, не предусматривает измельчения веток, производится только их вывозка. Также не разработаны технологии ликвидации малоценной древесины от вторичного зарастания после сплошных рубок при затоплении лож водохранилищ. Отсюда следует, что определение оптимальных конструктивных параметров орудий и агрегатов для измельчения малоценной древесины при перечисленных выше видах работ, а также режимов их работы актуально. Целью исследований является выбор конструкции рабочего органа для измельчения малоценных деревьев с обоснованием компоновки орудий и агрегатов, обеспечивающих выполнение поставленной задачи. Программа исследований предусматривала: исследование усилий резания древесины в зависимости от угла скольжения ножа и затрат мощности на его привод; расчет производительности транспортных средств при вывозке веток от обрезки зеленых насаждений по базовой и предлагаемой технологиям; обоснование энергетических и динамических параметров агрегата для измельчения древесных стволов на чурки при очистке лож водохранилищ. Эксперименты проводились на тензометрическом стенде и теоретически с использованием созданной автором компьютерной программы «Dina-2», что еще на стадии проектирования позволило обосновать параметры агрегата, конструкцию его рабочего органа и режимы его работы. На основании полученных результатов можно предложить конструкцию и компоновку лесохозяйственных орудий и агрегатов для измельчения малоценной древесины с рабочим органом в виде улиткообразного ножа, определить мощностные и динамические параметры устройства, что будет способствовать увеличению производительности труда и снижению энергетических затрат на выполнение технологического процесса.

Ключевые слова: рубки ухода, мотоинструмент, сосновые молодняки, измельчение, скользящее резание, бесповальное измельчение.

Введение

Одна из актуальных проблем лесного хозяйства – измельчение малоценных деревьев. В Сибири более 94 млн га лесов нуждаются в рубках ухода. В связи с тем, что густота молодняков достигает нескольких десятков

Для цитирования: Орловский С.Н. Измельчение малоценной древесины при рубках ухода // Лесн. журн. 2018. № 5. С. 135–150. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.135

тысяч деревьев на 1 га, возникают затруднения при передвижении и взаимодействии с вырубаемыми деревьями крупногабаритных машин и их рабочих органов. В группах и куртинах деревья нередко размещены так близко друг к другу, что даже срубленные продолжают стоять вертикально. Поэтому на извлечение из древостоя вырубленных деревьев для разделки или на их приземление для перегнивания затрачиваются дополнительные усилия и время. Поэтому необходимо использовать ручные мотоинструменты, обеспечивающие на рубках ухода высокую маневренность [2, 4, 8].

Обрезка деревьев в условиях городского зеленого хозяйства достаточно механизирована, одной из проблем при выполнении данной операции является вывоз обрезанных веток. Ввиду их малой плотности не обеспечивается загрузка автомобиля до номинальной грузоподъемности, что приводит к излишнему числу рейсов [1].

Аналогичные проблемы возникают и при очистке лож водохранилищ на реках Сибири. Очистка лож водохранилищ (например, Богучанская гидроэлектростанция на р. Ангара) от вторичного зарастания после проведенных более 20 лет назад сплошных рубок характеризуется неэффективным использованием существующей лесозаготовительной техники в насаждениях [3].

Перед нами стояли следующие задачи: обоснование возможности использования силового скользящего резания для измельчения древесины, которое при небольших затратах мощности и габаритах устройства позволит достигать высокой производительности с минимальными затратами механической энергии на выполнение технологического процесса; анализ процесса резания древесины ножом в форме логарифмической спирали, установленным под углом к приводному валу внутри разомкнутого цилиндрического кожуха; обоснование конструкции устройства для измельчения древесины и технологии его применения.

Целью исследований является выбор конструкции рабочего органа для измельчения малоценных деревьев с обоснованием компоновки орудий и агрегатов, обеспечивающих выполнение поставленных задач.

При этом необходимо исследовать влияние конструктивных особенностей орудий и агрегатов на эффективность технологического процесса. Экспериментальные исследования выполнены на созданном с участием автора стенде и макетном образце бесповального измельчителя для рубок ухода [8].

Объекты и методы исследования

В связи с тем, что экономическая эффективность рубок ухода зависит от реализации древесины, молоднякам, и особенно технологии ухода за ними, уделяется мало внимания. Использование ручного мотоинструмента позволяет применять более гибкую технологию рубок ухода в молодняках, однако это не избавляет работающих от значительных мускульных усилий. В итоге комплексная производительность труда остается низкой [2, 4].

Диаметр среза деревьев, вырубаемых при рубках ухода в сосновых молодняках II класса возраста, в среднем составляет 5...6 см. Масса вырубаемых деревьев с кронами в молодняках Сибири не более 15...20 кг. Следовательно, предмет труда (убираемые деревья) в значительной степени однороден,

что очень важно при проектировании рабочих органов машин для рубок ухода. Деревья, вырубаемые при рубках ухода в молодняках, в переработанном виде обычно захламляют лесосеки, что способствует возрастанию пожарной опасности в насаждениях.

При обрезке зеленых насаждений в городах ветви вывозятся для утилизации в кузовах автомобилей при их загрузке менее 20 % от номинальной грузоподъемности. Для измельчения веток при обрезке зеленых насаждений применяются специальные измельчители, но они весьма энергоемки и не могут агрегатироваться с вывозящим ветви автомобилем, являясь отдельной транспортной единицей, прицепной или навешиваемой на трактор.

В процессе очистки ложа водохранилища (Богучанская гидроэлектростанция на р. Ангара) от вторичного зарастания, представленного древостоями III бонитета со средним объемом хлыста 0,14 м³ при запасе леса 176 м³/га, доставка машин и механизмов к месту проведения лесочистки и транспортировка готовой продукции потребителям осуществляются на баржах. После обрезки сучьев древесина подается на баржу, где хлысты дробятся рубильной машиной на щепу, транспортируемую к местам переработки [3]. Данная технология неэффективна, так как имеет место низкая производительность и высокая трудоемкость технологического процесса. Недостатком данной технологии является и размер фракции щепы (мелкая), которая при ветре попадает с баржи в водохранилище.

Основные вопросы обоснования наиболее эффективных конструкций и режимов работы машин для измельчения тонкомерных деревьев и лесосечных отходов следующие:

- выбор оптимальной по критерию минимума энергоемкости конструкции рабочего органа для измельчения лесосечных отходов;
- обоснование компоновки механизма и технологии его применения;
- определение режимов резания и производительности проектируемого агрегата.

Существующее оборудование для измельчения тонкомерных деревьев и лесосечных отходов достаточно разнообразно. Оно включает механизмы как с двигателями внутреннего сгорания, так и с электрическими, а также с приводом от вала отбора мощности колесного трактора. Продукты резания могут разбрасываться, поступать в кузов автомобиля, собираться в специальный контейнер. Выполнение механизмов навесное или прицепное. Однако их использование в сосново-лиственном молодняке 10–15-летнего возраста, насчитывающем в среднем 17 тыс. деревьев на 1 га, связано с затрудненным проездом агрегата к месту работы. Оставляемые на дорашивание деревья могут быть повреждены. Возникает необходимость выноса древесных стволов с кроной до разделочной площадки, где отходы от резания будут образовывать опасные в пожарном отношении кучи.

Рабочие органы машин, использующие принцип скользящего силового резания древесины, применяются в фрезерных лесопожарных полосопрокладывателях [6, 7], в измельчителях для тонкомерных деревьев они не встречаются. Лучшие существующие аналоги агрегатов для измельчения древесины (в том числе при уходах за зелеными насаждениями в городах) представлены в таблице.

Техническая характеристики измельчителей малоценной древесины

Характеристика	Scorpion 120 R	Scorpion 160 SD	QFS-80	ИБН-0/160	ТорнадоВ 200	СРТ-130	ТР 100	BOXER CP5-13	Laski LS51/CH
Диаметр измельчаемой древесины, мм	120	160	80	160	200	130	100	200	51
Мощность привода, кВт	44	28	9,6	20	26	20	11...30	20...60	5,2
Масса, кг	560	900	320	–	782	–	195	–	88
Производительность, м ³ /ч	12	16	–	5	–	–	3...10	5	0,9...1,3
Энергоемкость, кВт·ч/м ³	3,67	1,75	–	4,0	–	–	3,67	4,00	4,00

Все приведенные выше модели измельчителей оборудованы радиально установленными на массивном диске ножами, осуществляющими прямое (рубящее) резание. Конструкций измельчителей, основанных на принципе скользящего силового резания древесины ножом в форме логарифмической спирали, не встречается.

Применение на рубках ухода в молодняках легкого переносного ручного мотоинструмента для бесповального измельчения тонкомерных деревьев несомненно актуально. Для измельчения веток при обрезке зеленых насаждений предлагается использовать располагаемый в кузове измельчитель с приводом от гидросистемы автомобиля, который бы по своим технико-экономическим показателям превосходил существующие орудия для измельчения срезанных ветвей, имел меньшую энергоемкость, обеспечивал низкую себестоимость работ, повышение загрузки транспортных средств и, как следствие, снижение количества поездок на вывозке древесных отходов.

При очистке лож водохранилищ также можно установить на барже режущее устройство, позволяющее разделять стволы мелколесья на чурки силовым скользящим резанием.

Результаты исследования и их обсуждение

Измельчение растущих деревьев. Измельчение растущих деревьев может быть осуществлено подачей древесного ствола в неподвижный измельчитель. При этом дерево не надо срубить и транспортировать, продукты резания в виде коротких отрубков должны разбрасываться по поверхности почвы и оставаться на перегнивание. Из распространенных способов резания древесины наиболее приемлемо силовое скользящее резание, которое позволяет при небольших затратах мощности и габаритах устройства достигать большой частоты перерезания и, следовательно, высокой производительности [6–8, 10]. Его преимущества наглядно демонстрируют графики, приведенные на рис. 1.

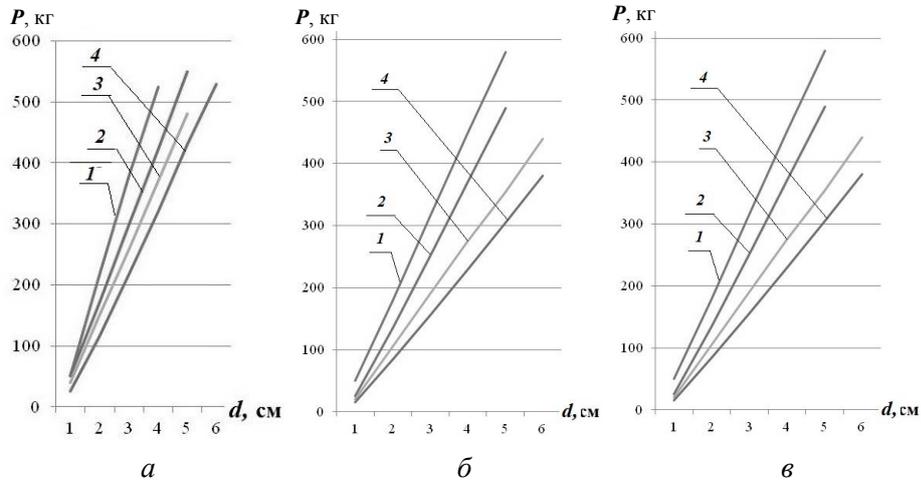


Рис. 1. Усилия резания древесины плоским ножом: *a* – береза, *б* – осина, *в* – сосна; *1* – торцовое резание; *2–4* – резание при скольжении ножа под углом соответственно 10° ; $22^\circ 30'$ и 36°

Fig. 1. Flat knife cutting force: *a* – birch, *б* – aspen, *в* – pine; *1* – end-grain cutting; *2–4* – cutting with a knife sliding at an angle of 10° ; $22^\circ 30'$ and 36°

Усилия протягивания ножа определены на тензометрическом стенде. Установлено, что усилие прямо зависит от угла скольжения.

Для измельчения деревьев с одновременной подачей ствола вниз было предложено устройство, имеющее нож улиткообразной формы с заостренной наружной кромкой [9]. Нож в форме логарифмической спирали устанавливается под углом к валу, дерево опирается на опорный цилиндрический и прижимные конические ролики. Бесповальное измельчение достигается вращением улиткообразного ножа внутри разомкнутого цилиндрического кожуха (рис. 2).



Рис. 2. Бесповальный измельчитель для рубок ухода

Fig. 2. Non-felling chipper for improvement thinnings

Технические характеристики бесповального измельчителя:

Электродвигатель – мощность 3,5 кВт; напряжение – 220 В; частота – 400 Гц; частота вращения – 24 000 мин⁻¹.

Нож – материал сталь 30 ХГСА или 40Х; частота вращения – 325 мин⁻¹; форма режущей кромки – логарифмическая спираль; прижим – ролики консольные конические; упор – ролик цилиндрический.

Шнек – одновитковый; диаметр наружный – 170 мм, внутренний – 50 мм.

Скорость резания – 0,53 м/с; производительность резания – 140 см²/с; время резания – 5,5 рез./с.

Диаметр обрабатываемого дерева – 3...4 см, высота дерева ≈ 3,2 м.

Масса орудия – 16 кг.

Производительность – 180...220 дер./ч.

Энергоемкость технологического процесса ≈ 2,37 кВт·ч/м³.

В кожухе смонтировано подающее устройство, состоящее из двух конических роликов, являющихся одновременно противножами, и цилиндрического ролика – упора. Измельчитель подводится к основанию дерева разомкнутой стороной кожуха, ствол захватывается вращающимся ножом и заклинивается между ним и роликами-противоножами. Режущая кромка в процессе вращения ножа внедряется в древесину и перерезает ствол, одновременно перемещая его вниз улиткообразным ножом-шнеком и коническими роликами. Вследствие непрерывной подачи древесный ствол перерезается на отрубки, длина которых равна шагу витка ножа. При соответствующих расчетах было принято во внимание, что при перерезании тонкомерных древесных стволов на отрубки небольшой длины древесина скалывается вдоль волокон и в результате этого требуется меньшее усилие. Для достижения приемлемой производительности на измельчение тонкомерного дерева затрачивается 20...25 с при шаге витка ножа не более 50 мм, что обеспечивает лучшее скалывание и резание с минимальным усилием. Частота вращения ножа должна быть не менее 320 мин⁻¹, скорость измельчения древесного ствола – 30 см/с.

Для эксперимента был изготовлен образец устройства с улиткообразным ножом, имеющим шаг витка 40 мм и угол скольжения кромки ножа 10°. Рассчитано устройство на измельчение стволиков диаметрами и не более 60 мм [1, 8].

В качестве привода первоначально использовался двигатель бензопилы «Дружба-4», конструкция которого была изменена добавлением второго цилиндра для достижения требуемой мощности. Измельчитель показал высокую производительность и удобство в работе, однако ввиду применения несертифицированного двигателя пришлось внести изменения в конструкцию, которая предполагала использование стандартного электродвигателя электропилы с питанием от агрегата для рубок ухода в молодняках – АРУМ. Недостаток конструкции АРУМа: моторист имеет меньше свободы перемещения по площади молодняка. Он вынужден разматывать кабель и по мере приближения к технологическому коридору периодически наматывать его обратно на барабан [8]. Кабель при этом часто заклинивает между деревьями и кустарниками. В настоящее время имеется большой ряд двигателей бензопил требуемой мощности для возрождения предлагаемого орудия.

Производительность измельчения определялась в сосново-лиственном молодняке 10–15-летнего возраста, насчитывавшем около 17 тыс. дер./га. В среднем на измельчение дерева затрачивалось 20...27 с [8, 10–12].

Эксперимент показал, что древесину в измельченном виде можно оставлять для перегнивания. Захламления лесосеки в этом случае не происходит, пожарная опасность не увеличивается, так как отрубки древесных стволов и крон, соприкасаясь с почвой, быстро разлагаются. Немаловажное достоинство бесповального измельчения состоит в том, что оставляемые на дорощивание деревья не повреждаются. При этом отпадает необходимость в операциях выноса древесного ствола с кроной до разделочной площадки или к месту окучевания.

Измельчение веток при обрезке зеленых насаждений. На описанном выше принципе основано разработанное автором орудие для измельчения веток при обрезке зеленых насаждений в городах. Оно состоит из разомкнутого цилиндрического кожуха, цилиндрического одноступенчатого редуктора, гидравлического двигателя, опорного устройства, подающего приспособления в виде роликов, расположенных во взаимно перпендикулярных плоскостях, ножевого рабочего органа с режущей кромкой, выполненной по логарифмической спирали.

Орудие агрегируется с автомобилем-самосвалом любой модели посредством установки на него гидрораспределителя, разрывных муфт и рукавов высокого давления для соединения гидронасоса с орудием. Чертеж орудия и его установка на автомобиле представлены на рис. 3.

Орудие работает следующим образом: базовый автомобиль прибывает на место обрезки, оператор вместе с водителем устанавливает орудие в кузове; водитель заводит двигатель автомобиля и переключает гидрораспределитель на привод рабочего органа орудия; двое грузчиков собирают и подают ветки в кузов самосвала; оператор в кузове направляет ветки в орудие, режущий орган перерезает ветки на отрезки длиной, равной шагу витка ножа, с непрерывной подачей вдоль оси вращения; оператор распределяет измельченные отрезки по кузову самосвала.

Расчет времени, затраченного на погрузку веток, их выгрузку, и времени рейса по базовому и проектному вариантам показывает, что применение этого орудия сокращает затраты на перевозку примерно в 3,5 раза [1]. Срок окупаемости составляет 0,8 года.

Тангенциальная сила (H), действующая на нож, определяется по следующей формуле [6]:

$$F_t = d k, \quad (1)$$

где d – диаметр перерезаемого ствола, м;

k – коэффициент резания.

Сила (H), действующая по нормали,

$$F_n = F_t \sin \alpha, \quad (2)$$

где α – угол наклона ножа, ...°.

Расчет крутящего момента ($H \cdot м$) на привод ножа производится по формуле

$$M_p = r F_n, \quad (3)$$

где r – радиус ножа в зоне резания, м.

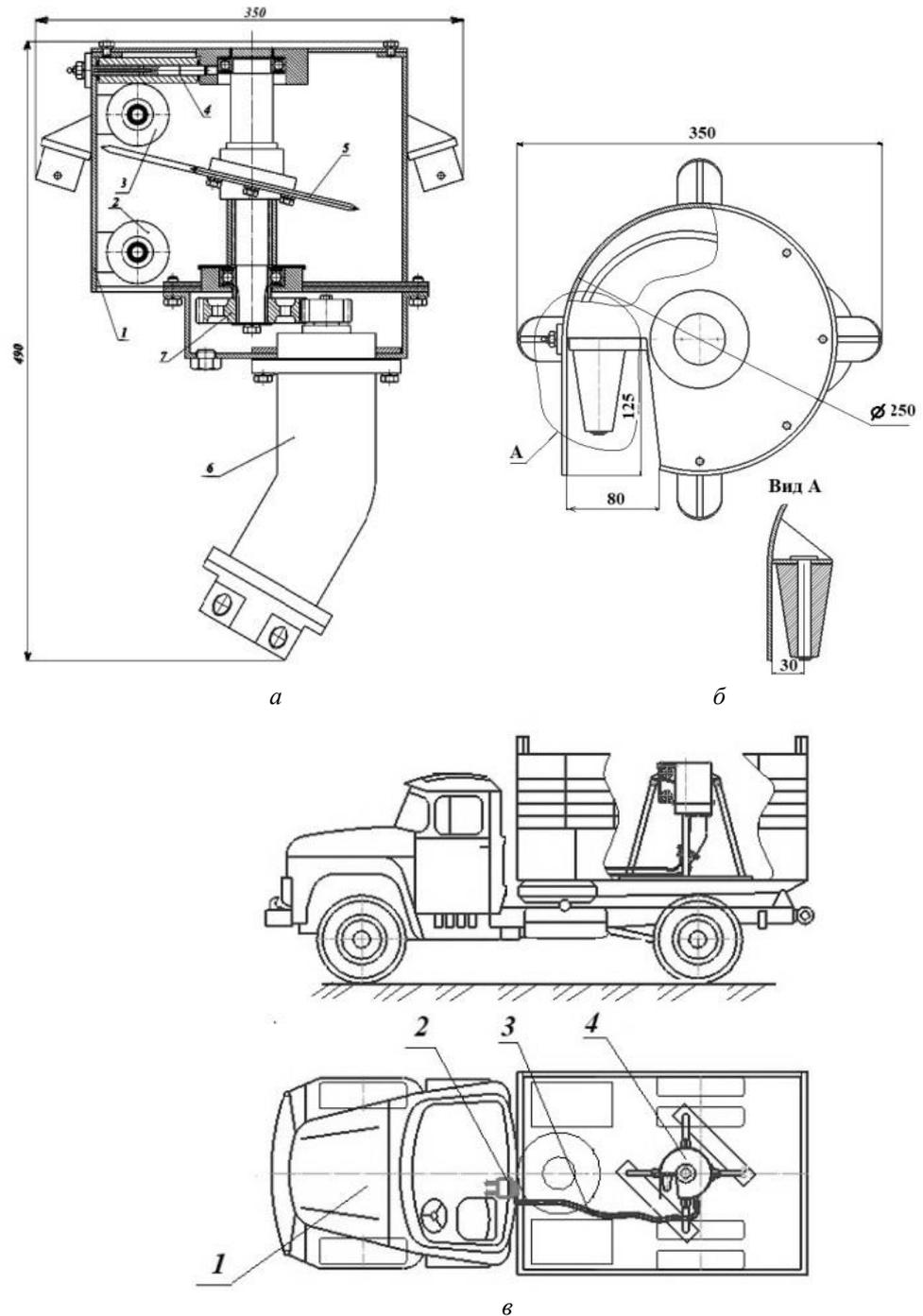


Рис. 3. Чертеж рабочего органа измельчителя веток: *а* – вид сбоку (*1* – корпус, *2, 3* – ролики конические, *4* – ролик цилиндрический, *5* – нож, *6* – гидродвигатель, *7* – редуктор); *б* – вид сверху; *в* – общий вид установки на автомобиле (*1* – автомобиль, *2* – гидрораспределитель, *3* – шланги, *4* – измельчитель)

Fig. 3. Structural drawing of a working member of branches chipper: *a* – side view (*1* – body, *2, 3* – tapered rollers, *4* – plain rollers, *5* – knife, *6* – hydraulic engine, *7* – reduction gear); *б* – top view; *в* – general view of the installed equipment on the car (*1* – car, *2* – hydraulic distributor, *3* – hoses, *4* – chipper)

Выбирая гидронасос НШ-32 и гидродвигатель 210.16, при передаточном числе редуктора 2,5 получаем частоту вращения рабочего органа 325 мин^{-1} . Затраты мощности на привод орудия принимаем из условия работы двигателя базовой машины на холостом ходу при частоте вращения коленчатого вала двигателя 1000 мин^{-1} .

Часовая производительность орудия ($\text{м}^3/\text{ч}$) находится по формуле [7]:

$$W_q = \pi R^2 h W_{\text{шт}}, \quad (4)$$

где R – радиус измельчаемых ветвей, м;

h – длина ветви, м;

$W_{\text{шт}}$ – производительность орудия, шт./ч.

Объем (м^3) перевозимого груза [1]:

$$Q = M / K, \quad (5)$$

где M – масса перевозимого груза, т;

K – коэффициент объемной массы веток, $\text{кг}/\text{м}^3$ (для веток, устанавливаемых в кузов вертикально, $K = 300 \text{ кг}/\text{м}^3$; для – веток, нарубленных на отрезки длиной 5...7 см, $K = 700 \text{ кг}/\text{м}^3$).

Для базового варианта $Q = 19,0 \text{ м}^3$, для проектного – $8,1 \text{ м}^3$.

Определим количество рейсов, необходимое для вывозки срезанных со 100 деревьев веток массой 5700 кг:

$$N = Q / V, \quad (6)$$

где V – объем кузова автомобиля ЗиЛ, м^3 .

Для базового варианта $N \approx 2$, для разработанного – $N \approx 1$.

По цене орудие доступно для предприятий зеленого хозяйства. Окупаемость его достигается за счет повышения загрузки транспортного средства. При использовании предлагаемого орудия количество рейсов, необходимых для вывозки обрезанных веток, а также их объем уменьшаются в 2–3 раза, что сокращает затраты на транспортировку и захоронение отходов.

Кроме того, измельченные ветки можно отправлять на дополнительную переработку в целях получения брикетированного топлива либо, предварительно высушив, использовать напрямую в качестве топлива.

Измельчение малоценной древесины при очистке ложа водохранилищ (на примере разработки технологии очистки ложа водохранилища Богучанской гидроэлектростанции на р. Ангара от вторичного зарастания после проведения сплошных рубок, которые производились более 20 лет назад). Применение существующей лесозаготовительной техники в насаждениях с объемом хлыста $0,14...0,16 \text{ м}^3$ неэффективно [3]. Необходимы новые подходы к разработке машин и технологий, обеспечивающих выполнение этой задачи.

Нами предлагается новая технология лесоочистки. После срезки деревьев и укладки их в пачки по трассам движения форвардеров производится срезка пней, что позволяет осуществлять вывозку хлыстов с большими скоростями движения ввиду снижения динамических нагрузок на лесовозный транспорт [7]. Срезанные деревья грузятся манипулятором гусеничного форвардера «Онежец» ТБ-1 МА-16 на его грузовую платформу и транспортируются к месту разгрузки нижнего склада возле установленных на временной стоянке плавучего подъемного крана КПЛ–50-30 и двух барж типа 183-Щ. Там фор-

вардер разгружается, древесину очищают от сучков и кроны с помощью сучкорезной машины ЛП-30Б. После обрезки сучьев древесина подается на баржу грейфером плавучего крана: сортименты грузятся на баржу (1), мелколесье и вершины хлыстов – на баржу (14) в предлагаемую автором режуще-погрузочную установку. Раскладка чурочек на барже осуществляется с помощью конвейерной ленты и поворотного механизма. После загрузки буксир транспортирует баржу к месту разгрузки, а к нижнему складу пришвартовывается следующая баржа. С помощью плавучего крана установка переставляется на нее. Схема очистки ложа водохранилища представлена на рис. 4.

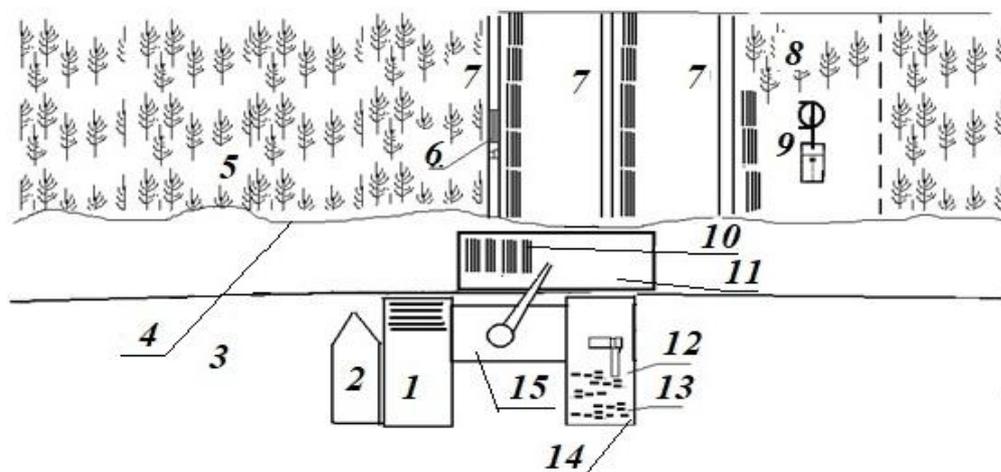
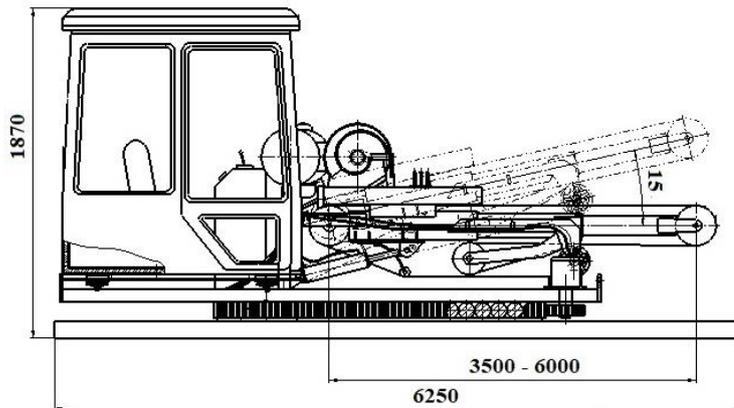


Рис. 4. Технологическая схема повторной лесоочистки по проектируемому варианту: 1, 14 – баржа; 2 – буксир; 3 – акватория водохранилища; 4 – береговая линия водохранилища; 5 – зона, подлежащая повторной лесоочистке; 6 – форвардер; 7 – пачки леса после прохода валочной машины; 8 – разрабатываемая пасаека; 9 – ЛП-19В с оборудованием для валки мелкого леса и сбора пачек; 10 – хлысты на разделке бензопилами; 11 – временный нижний склад; 12 – установка для резки хлыстов на чурки; 13 – топливные чурки на барже; 15 – плавучий кран

Fig. 4. Technological scheme of repeated reforestation according to the project version: 1, 14 – barge; 2 – tug; 3 – reservoir water area; 4 – reservoir shoreline; 5 – area to be reforested; 6 – forwarder; 7 – packages of wood after cutting by tree felling machine; 8 – forest swath under processing; 9 – ЛП-19В with equipment for small forests felling and collecting packages; 10 – tree logs under log conversion by motor saw; 11 – temporary low landing; 12 – equipment for cutting logs into chocks; 13 – fuel chocks on a barge; 15 – floating crane

Проектная режуще-погрузочная установка представляет собой раму, на которой стоит приводимый во вращение двигателем внутреннего сгорания улиткообразный нож с подведенными к нему двумя конвейерными лентами. Одна лента предназначена для подачи хлыстов на нож, вторая принимает разрезанные чурки и раскладывает их по барже. Проектная установка представлена на рис. 5.



Кинематическая схема изменения длины транспортёра

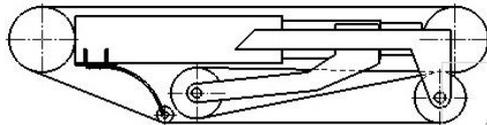
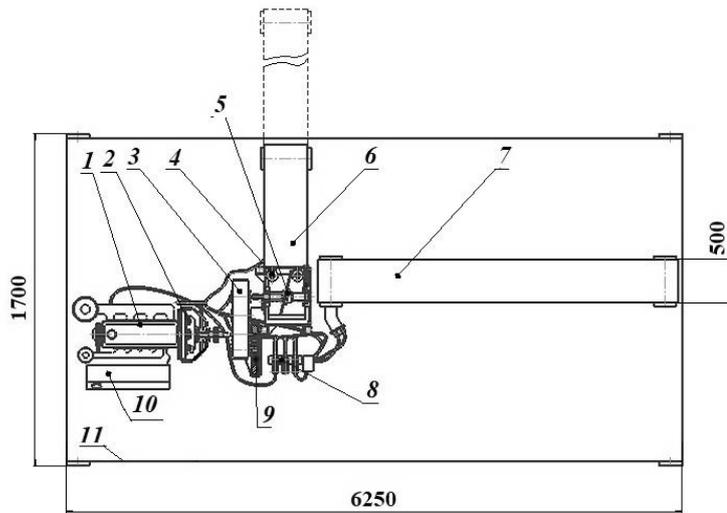
*a**б*

Рис. 5. Проектная установка для резки стволов на чурки и их погрузки: *a* – вид сбоку, *б* – вид сверху; 1 – двигатель Д-243; 2 – муфта сцепления; 3 – редуктор; 4 – конический ролик; 5 – режущий нож; 6 – выходная конвейерная лента; 7 – подающая конвейерная лента; 8 – пульт управления; 9 – маховик; 10 – топливный бак; 11 – поворотное основание

Fig. 5. Project equipment for cutting trunks into chocks and their loading: *a* – side view, *б* – top view; 1 – engine Д-243; 2 – clutch; 3 – reduction gear; 4 – tapered rollers; 5 – cutting knife; 6 – output conveyor belt; 7 – feed conveyor belt; 8 – control panel; 9 – fly-wheel; 10 – fuel tank; 11 – swivel base

Техническая характеристика проектной установки:

Скорость транспортера.....	1,26 м/с
Мощность двигателя Д-243.....	58,8 кВт
Масса	3500 кг
Скорость резания.....	1,9 м/с
Диаметр перерезаемых стволов.....	≤0,3 м
Гидромотор привода транспортера подачи.....	210,20
Гидромотор транспортера отбрасывания.....	MP-450
Обслуживающий персонал.....	1 оператор, 2 накатчика

Суммарное усилие, действующее на нож радиусом 0,35 м, превышает крутящий момент двигателя с учетом передаточного числа редуктора, однако при наличии в трансмиссии привода ножа дополнительного маховика, вращающегося с частотой 9000 мин⁻¹, появляется возможность использовать его динамическую реакцию для преодоления перегрузок [5]. Приведенный к колленчатому валу двигателя момент инерции маховика массой 70 кг составляет 8,43 кг·м².

На основании сводных данных изменения угловой скорости и углового ускорения вращающихся масс установки выполнен расчет ее динамической реакции по алгоритму, приведенному в работе [6]. За счет аккумуляции кинетической энергии во вращающихся массах установки крутящий момент двигателя возрастает в 2–3 раза, что обеспечивает разрезание ствола на чурки. Изменение момента инерции вращающихся масс в стоимостном выражении дешевле, чем применение установки с двигателем повышенной мощности.

Производительность для базового (разделка хлыстов бензопилами) и проектного (установка для силового резания хлыстов) вариантов ($B_{\text{выр.б}}$ и $B_{\text{выр.п}}$, м³/ч) рассчитывается с использованием следующих выражений:

$$B_{\text{выр.б}} = \frac{T_{\text{см}} K_{\text{исп}} K_{\text{т}}}{\frac{H_{\text{бр}}}{L_{\text{д}}} T_{\text{рез}} T_{\text{пер}}} N_{\text{пильщ}} Q_{\text{бр}}; \quad (7)$$

$$B_{\text{выр.п}} = \frac{T_{\text{см}} K_{\text{исп}} K_{\text{т}}}{T_{\text{ц}} T_{\text{под}}} Q_{\text{бр}}, \quad (8)$$

где $T_{\text{см}}$ – продолжительность смены, ч;
 $K_{\text{исп}}$ – коэффициент использования;
 $K_{\text{т}}$ – коэффициент технологичности;
 $H_{\text{бр}}$ – высота бревна, м;
 $L_{\text{д}}$ – длина бревна, м;
 $T_{\text{рез}}$ – продолжительность резания, ч;
 $T_{\text{пер}}$ – продолжительность перехода, ч;
 $N_{\text{пильщ}}$ – число рабочих, чел.;
 $Q_{\text{бр}}$ – объем бревна, м³;
 $T_{\text{ц}}$ – время цикла, ч;
 $T_{\text{под}}$ – продолжительность подачи бревен на входную конвейерную ленту, ч.

Сменная выработка по базовой технологии составляет 14,50 м³/ч (объем работ за сезон – 13 577 м³), по проектной – 50,88 м³/ч (объем работ – 47 595 м³), что подтверждает целесообразность применения предлагаемого технического решения. Годовая экономия текущих затрат – 8 132 081 р., срок окупаемости установки – 0,1 года.

Заключение

Для бесповального измельчения растущих деревьев при выполнении рубок ухода может использоваться моторизованное орудие, работающее по принципу скользящего силового резания древесины ножом в форме логарифмической спирали, установленным под углом к приводному валу внутри разомкнутого цилиндрического кожуха с опорными роликами.

Кроме того, данный принцип резания древесины может применяться при измельчении веток от обрезки зеленых насаждений в городах. Разрезание происходит в транспортных средствах на отрезки длиной, равной шагу витка ножа, с непрерывной подачей вдоль оси вращения. При этом повышается коэффициент загрузки автомобиля, что в 2-3 раза сокращает количество его поездок и способствует уменьшению затрат на транспортировку отходов, снижению вредных выбросов и загруженности транспортных магистралей.

Применение конвейерного погрузчика с транспортером переменной длины, использующего принцип скользящего силового резания древесины, в установке для резания маломерной древесины на чурки, погрузки и укладки их на баржи при очистке ложа затопляемых водохранилищ обеспечивает повышение производительности труда в 2-3 раза, снижение капитальных вложений и экологических нарушений на территории водохранилища.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов М.И., Кухар И.В. Машины и оборудование природообустройства и защиты окружающей среды: метод. указания по курсовому проектированию. Красноярск: СибГТУ, 1999. 48 с.
2. Давыдов А.В. Рубки ухода за лесом: моногр. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 184 с.
3. Корпачев В.П., Сладикова С.М., Пережилин А.И., Малинин Л.И. Оценка запасов древесной массы в водохранилище Богучанской ГЭС в процессе его подготовки и эксплуатации // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. XXV, № 1-2. С. 173–176.
4. Лямин И.В., Белоглазов В.С. Механизированные рубки ухода с применением специальной бесчокерной лесохозяйственной колесной системы // Лесн. журн. 1972. № 6. С. 91–93. (Изв. высш. учеб. заведений)
5. Орловский С.Н. Проектирование машин и оборудования для садово-паркового и ландшафтного строительства: учеб. пособие. Красноярск, СибГТУ, 2004. 108 с.
6. Орловский С.Н. Определение энергетических и динамических параметров тракторов, режимов резания активных рабочих органов машинно-тракторных агрегатов: моногр. Красноярск, КрасГАУ, 2011. 376 с.
7. Орловский С.Н., Карнаухов А.И. Методика расчета энергетических и динамических параметров агрегата для понижения пней и режимов резания его рабочего органа // Лесн. журн. 2017. № 4. С. 106–115. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn 0536-1036.2017.4.106

8. Разработать бесповальный измельчитель для рубок ухода: отчет о НИР (промежуточ.) / ВНИИМлесхоз. Красноярск, 1976. 130 с.

9. Устройство для измельчения древесины: а.с. СССР № 409686 / Заявитель ВНИИ механизации лесн. хоз-ва. 1972.

10. *Beniak J., Ondruška J., Čačko V.* Design Process of Energy Effective Shredding Machines for Biomass Treatment // *Acta Polytechnica*. 2012. Vol. 52, no. 5. Pp. 133–137.

11. *Shokripour H., Ismail W.I.W., Shokripour R., Moezkarimi Z.* Development of an Automatic Cutting System for Harvesting Oil Palm Fresh Fruit Bunch (FFB) // *African Journal of Agricultural Research*. 2012. Vol. 7, no. 17. Pp. 2683–2688. Режим доступа: https://academicjournals.org/article/article1380883578_Shokripour%20et%20aa.pdf (дата обращения: 05.05.2012).

12. *Teggin R., Kavadiatti S., Hebbal S.* Design and Fabrication of Machine Performing Multiple Wood Working Operations // *Proceedings of NCRIET-2015 & Indian J. Sci. Res.* 2015. Vol. 12, no. 1. Pp. 162–167.

Поступила 02.04.18

UDC 634.0.36

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.135

Chipping of Low-Value Wood during the Improvement Thinning

S.N. Orlovskiy, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

Krasnoyarsk State Agrarian University, pr. Mira, 90, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation; e-mail: orlovskiysergey@mail.ru

Chipping of low-value wood during the improvement thinning, cutting the green areas and cleaning the beds of hydropower reservoirs is a topical issue of forestry. Wood chipping is paid little attention due to the dependence of economic efficiency of such processes on timber trading. Improvement thinning is primarily carried out with the help of standard forestry equipment. Cutting of green areas usually is not followed by chipping of branches. They are simply removed from the territory. There are no technologies of low-value wood disposal after regeneration of cutover stands and flowage the beds of hydropower reservoirs. Therefore it is important to specify the optimal design parameters and working modes of machines and equipment for low-value wood chipping in the outlined work activities. The aim of the research was to choose the design of the working member for chipping of low-value trees with rationale for the layout of tools and aggregates providing the goal achievement. The research program included the study of the cutting forces depending on the knife sliding angle and its gear power requirements, calculation of vehicle productiveness while transporting the cutted branches after pruning according to the basic and proposed technologies, substantiation of energy and dynamic parameters of the device designed for chipping tree trucks into chocks while reservoir cleaning. The research was

For citation: Orlovskiy S.N. Chipping of Low-Value Wood during the Improvement Thinning. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 5, pp. 135–150. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.135

carried out on a strain-measuring stand and by means of a “Dina-2” computer program designed by the author. This enabled substantiation of the device and its parameters, the working member design and its operation modes at the planning stage. The obtained results allowed substantiating the design and layout of forestry machines and aggregates for low-value wood chipping equipped with a snail-shaped knife, determining power and dynamic parameters of the device what makes possible to enhance the labor productiveness and decrease energy costs of the technological process.

Keywords: improvement thinning, motor instrument, pine offspring stands, chipping, slide cutting, non-felling grinding.

REFERENCES

1. Gerasimov M.I., Kukhar I.V. *Mashiny i oborudovaniye prirodoobustroystva i zashchity okruzhayushchey sredy: metod. ukazaniya po kursovomu proyektirovaniyu* [Machines and Equipment for Environmental Engineering and Protection. Instructional Guidelines for Writing a Term Project.]. Krasnoyarsk, SSTU Publ., 1999. 48 p. (In Russ.)
2. Davydov A.V. *Rubki ukhoda za lesom: monogr.* [Forest Improvement Thinnings. Monography]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1971. 184 p. (In Russ.)
3. Korpachev V.P., Sladikova S.M., Perezhilin A.I., Malinin L.I. Otsenka zapasov drevesnoy massy v vodokhranilishche Boguchanskoy GES v protsesse ego podgotovki i ekspluatatsii [Estimation of Wood Pulp Stocks in the Reservoir of the Boguchany Hydroelectric Power Station during Its Preparation and Exploitation]. *Khvoynnyye boreal'noy zony* [Hardwood of Boreal Zone], 2008, vol. 25, no. 1–2, pp. 173–176.
4. Lyamin I.V., Beloglazov V.S. *Mekhanizirovannyye rubki ukhoda s primeneniyyem spetsial'noy beschokernoy lesokhozyaystvennoy kolesnoy sistemy* [Mechanized Thinning with the Use of a Special Chokerless Forestry Wheel System]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1972, no. 6, pp. 91–93.
5. Orlovskiy S.N. *Proyektirovaniye mashin i oborudovaniya dlya sadovo-parkovogo i landshaftnogo stroitel'stva: ucheb. posobiye* [Machines and Equipment designing for Park and Garden Design and Landscaping. Educational Textbook]. Krasnoyarsk, SSTU Publ., 2004. 108 p. (In Russ.)
6. Orlovskiy S.N. *Opredeleniye energeticheskikh i dinamicheskikh parametrov traktorov, rezhimov rezaniya aktivnykh rabochikh organov mashin-no-traktornykh agregatov: monogr.* [Determination of Energy and Dynamic Parameters of Tractors, Cutting Modes of Active Working Members of Tractor-Based Machines. Monography]. Krasnoyarsk, KrasGAU Publ., 2011. 376 p. (In Russ.)
7. Orlovskiy S.N., Karnaukhov A.I. *Metodika rascheta energeticheskikh i dinamicheskikh agregata dlya ponizheniya pney i rezhimov rezaniya rabocheho organa* [Calculation Methodology of Energy and Dynamic Parameters of the Stump Lowering Device and Cutting Conditions of Its Working Member]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2017, no. 4, pp. 106–115.
8. *Razrabotat' bespoval'nyy izmel'chitel' dlya rubok ukhoda: otchet o NIR (promezhutoch.)* [To Design a Non-Felling Chipper for Improvement Thinning. Intermediate Research Report]. Krasnoyarsk, VNIIMleskhov Publ., 1976. 130 p. (In Russ.)
9. *Ustroystvo dlya izmel'cheniya drevesiny* [A Device for Wood Chipping]. The USSR Certificate of Authorship no. 409686. All-Union Research Institute for Forestry Mechanization, 1972.
10. Beniak J., Ondruška J., Čačko V. Design Process of Energy Effective Shredding Machines for Biomass Treatment. *Acta Polytechnica*, 2012, vol. 52, no. 5, pp. 133–137.

11. Shokripour H., Ismail W.I.W., Shokripour R., Moezkarimi Z. Development of an Automatic Cutting System for Harvesting Oil Palm Fresh Fruit Bunch (FFB). *African Journal of Agricultural Research*, 2012, vol. 7, no. 17, pp. 2683–2688. Available at: https://academicjournals.org/article/article1380883578_Shokripour%20et%20aa.pdf (accessed 05.05.2012).

12. Teggin R., Kavadiatti S., Hebbal S. Design and Fabrication of Machine Performing Multiple Wood Working Operations. *Proceedings of NCRIET-2015 & Indian J. Sci. Res.*, 2015, vol. 12, no. 1, pp. 162–167.

Received on April 02, 2018
