

О ВЛИЯНИИ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАШИНЫ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПОРУБОЧНЫХ ОСТАТКОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕЕ РАБОТЫ

Фокин С.В., Саввин Е.В.

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», Саратов, Россия (410012, г. Саратов, Театральная пл., 1), e-mail: feht@mail.ru

Проводится анализ влияния конструктивных и технологических параметров машины для измельчения порубочных остатков на эффективность ее работы. Процесс измельчения порубочных остатков предложенным устройством является сложным и многофакторным. Приводимая в статье разработанная методика моделирования позволяет исследовать влияние большого количества параметров устройства для измельчения порубочных остатков на его эффективность. В статье определены параметры устройства, при которых показатели эффективности будут как можно лучше, то есть величина производительности машины как можно больше, а средний размер щепы после измельчения загруженной порции порубочных остатков и потребляемая мощность – как можно меньше. Кроме того, определены диапазоны параметров, при которых эффективность машины для измельчения порубочных остатков имела слабую связь от геометрических параметров порубочных остатков.

Ключевые слова: устройство для измельчения порубочных остатков, порубочные остатки, щепа, рубительные машины.

EFFECT OF STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS MACHINE FOR GRINDING FOREST RESIDUES ITS EFFECTIVENESS

Fokin S.V., Savvin E.V.

FGBOU VPO «Saratov State Agrarian University named after N.I Vavilov» Saratov, Russia (410012, Saratov, Theatre Square on 1), e-mail: feht@mail.ru

The analysis of the influence of structural and technological parameters of the machine for shredding forest residues on the efficiency of its work. The grinding process logging residues proposed device is complex and multifactorial. Material presented in the article, the developed method of modeling allows us to investigate the influence of a large number of parameters of the device for grinding logging residues on its effectiveness. The article defined the parameters of the device for which performance indicators will be as good as possible, that is, the value of output of the machine as much as possible, and the average amount of chips after grinding the loaded portion of forest residues, and power consumption as low as possible. In addition, the defined ranges of the parameters under which the efficiency of grinding machines for logging residues had a weak link on the geometric parameters of forest residues.

Key words: a device for shredding forest residues, felling residues, wood chips, chippers.

Древесина по теплотворной способности немного уступает ископаемым видам топлива, но при этом имеет ряд серьезных преимуществ перед ними. Главными из них являются возобновляемость, меньший выброс диоксида углерода при сжигании, меньшее содержание вредных веществ в золе по сравнению с минеральными видами топлива, возможность выращивания и заготовки древесного сырья вблизи мест потребления, позволяющая сократить расходы на транспортировку готового продукта от места происхождения до места потребления. В процессе заготовки древесной биомассы, помимо деловой древесины, образуется 30–45% порубочных остатков в виде рассеченной кроны на земле и 20–25% прикорневой доли биомассы дерева в земле. Объем биомассы дерева, находящегося в кроне, пне и корнях, является дополнительным сырьем для получения энергии.

В настоящее время в лесах степной и лесостепной климатических зон Поволжья утилизация древесных отходов, образующихся при проведении рубок ухода и санитарных рубках, является большой проблемой, так они представляют из себя низкокачественную древесину средней крупности, вершины, сучья деревьев и пни [1; 3].

Поэтому порубочные остатки и пни приходится сжигать, нанося экологии леса непоправимый вред. Переработка же таких отходов на щепу позволит решить проблему утилизации отходов лесосечных работ, которая может быть использована в качестве дополнительного источника энергии. Для измельчения древесных отходов и пней на щепу используются устройства рубительного, измельчающего и фрезерного типа, которые нашли применение в производственных условиях.

Наибольшее распространение получили машины фрезерного типа. Широкий спектр применения машин данного типа свидетельствует об универсальности используемых конструктивных схем, которым свойственны маневренность, высокая производительность и компактность. Однако машинам фрезерного типа присущи и недостатки, основным из которых является высокая энергоемкость производимых работ по переработке древесной биомассы на щепу. Существующие теоретические разработки по обоснованию параметров машин фрезерного типа не могут в полной мере использоваться из-за специфики условий производства работ, что приводит к необходимости разработки методов расчета проектных параметров фрезерных рабочих органов.

Попыткой создания таких методов является разработка компьютерной программы, которая позволяет: проводить компьютерный эксперимент по измельчению порубочных остатков машиной фрезерного типа [2]; задавать основные параметры порубочных остатков (количества ветвей, их длины, диаметра, жесткости, прочности), машины (скорости подачи, частоты вращения режущего диска и параметров компьютерного эксперимента (длительность, шаг интегрирования по времени); выводить на экран в процессе компьютерного эксперимента схематичное изображение машины и порубочных остатков в трех проекциях, график зависимости мгновенной мощности от времени $N(t)$, гистограмма распределения щеп по длине $P(l_{щ})$, текущие значения основных показателей эффективности (средняя длина щепы $l_{щ}$, средняя потребляемая машиной мощность N).

В модели корректно воспроизводилась сложная геометрическая форма рубительного диска, вальцов и подающего вала, их вращение, а также загрузочный конус и щепопровод. В рамках конечно-элементного подхода поверхности сложной формы заменялись большим количеством плоских фигур [4]. В качестве элементарной фигуры использовались треугольники, так как они легко стыкуются между собой и позволяют воспроизводить поверхность любой формы. Поэтому в рамках разрабатываемой модели рабочие поверхности

машины представлялись в виде совокупности множества элементарных треугольников.

Треугольник в трехмерном пространстве задается координатами трех его вершин $T_{i1}(x_{i1}, y_{i1}, z_{i1})$, $T_{i2}(x_{i2}, y_{i2}, z_{i2})$, $T_{i3}(x_{i3}, y_{i3}, z_{i3})$, где T – обозначение точки-вершины треугольника; i – номер треугольника; индексы 1, 2 или 3 – означают номер вершины для i -го треугольника. Для образования сложных поверхностей треугольники стыкуются между собой по какому-либо ребру, при этом для соседних треугольников совпадают по две вершины (например $T_{71} = T_{81}$, $T_{72} = T_{82}$).

Рабочая поверхность подающего барабана с некоторой степенью закругления была разбита на 12 прямоугольников (рисунок 1, а), каждый из которых состоит из двух треугольников (12 x 2 = 24 треугольника) (рисунок 1, в). При стыковке треугольников, как показано на рисунке 2.3, поверхности подающего вала оказываются замкнутыми вокруг вала, однако по торцам вала остаются свободные ребра. Последние практически не оказывают отрицательного влияния на результаты моделирования, так как выходят за области подачи порубочных остатков.

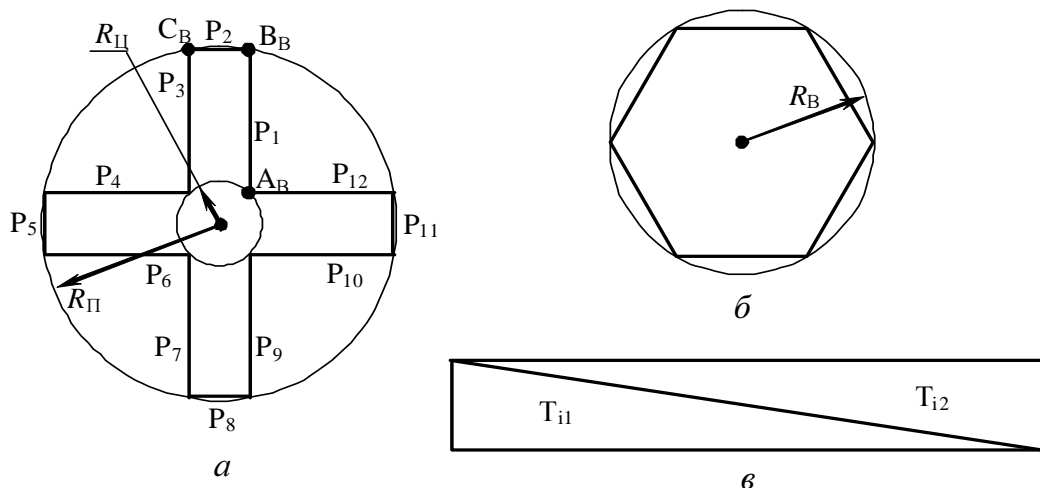


Рис. 1. Представление подающего барабана с указанием разбиения на плоскости-прямоугольники P_i (а); представление подающего вальца как совокупности шести плоскостей-прямоугольников (б); разбиение каждой плоскости-прямоугольника на треугольники T_{i1} и T_{i2} (в).

Аналогичным образом подающие вальцы представляются в модели в виде правильной шестигранной призмы с шестью боковыми плоскостями (рисунок 1, б). В целом рабочая поверхность каждого вальца состоит из 12 треугольников. Рисунок 2 иллюстрирует разбиение на треугольники корпуса устройства с системой подачи.

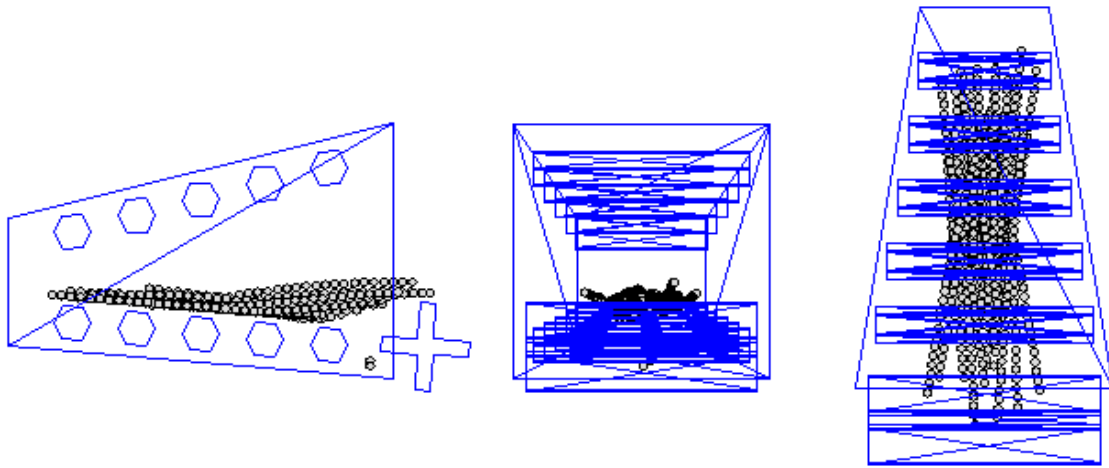


Рис. 2. Иллюстрация разбиения в модели на элементарные треугольники поверхностей корпуса, подающих барабана и валцов (три проекции).

Рубительный диск представляется как сложная комбинация поверхности диска и ножей (рисунок 3).

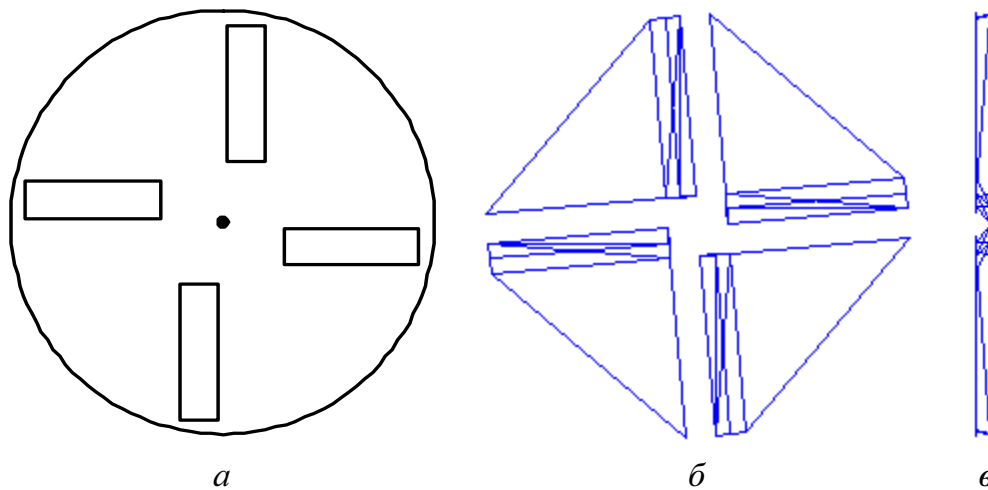


Рис. 3. Представление в модели рубительного диска:
 а – геометрические формы реального рубительного диска;
 б, в – проекции модели рубительного диска.

Компьютерный эксперимент проводился следующим образом. В начальный момент времени на входе в загрузочный патрон размещалось заданное количество ветвей (в большинстве экспериментов 30 ветвей), не касающихся подающих валцов и барабана. Под действием силы тяжести ветви начинали двигаться вниз, приходя в соприкосновение с

вращающимися вальцами и барабаном. В течение некоторого времени ветви подавались в направлении рубительного диска, где происходило их измельчение. Компьютерный эксперимент останавливали в тот момент, когда все ветви были измельчены. Компьютерный эксперимент проводился в трехкратной повторности с последующим усреднением для уменьшения случайной погрешности результатов [5].

Частота вращения рубительного диска ω_d является одним из наиболее важных параметров устройства для измельчения порубочных остатков. Частота вращения влияет как на производительность машины и качество измельчения, так и на потребляемую устройством мощность. Путем компьютерного моделирования процесса измельчения порубочных остатков установлено, что производительность устройства P имеет максимум при частоте вращения рубительного диска 15–20 об/с. При малой частоте вращения диска (0–10 об/с) рубительный диск сдерживает поток подаваемых ветвей, поэтому производительность мала. При большой частоте вращения диска (25–30 об/с) при каждом ударе ножа диск сообщает ветвям существенный импульс, который приводит к отскакиванию измельчаемой ветви в случайном направлении, и непрерывность потока порубочных остатков в направлении рубительного диска нарушается.

Размер щепы d минимален в диапазоне частот вращения 10–15 об/с. При малой частоте ω_d (0–5 об/с) за время открытия окна в диске ветвь успевает переместиться на значительное расстояние, поэтому отрубаются щепы значительных размеров. При большой частоте вращения диска (20–30 об/с) нарушается нормальное измельчение из-за хаотичного движения порубочных остатков в загрузочном патроне, вызванного передачей существенных импульсов при контакте с рубительным диском.

С увеличением частоты вращения рубительного диска потребляемая устройством мощность возрастает. Особенно выражено возрастание в диапазоне 5–20 об/с, в котором с увеличением частоты увеличивается производительность и качество измельчения. При больших частотах вращения (25–30 об/с) мощность возрастает значительно, так как в данном диапазоне уменьшается производительность и качество измельчения.

Совокупный анализ зависимостей $P(\omega_d)$, $d(\omega_d)$ и $N(\omega_d)$ позволяет в качестве оптимального диапазона частот рекомендовать 12–15 об/с. В этом диапазоне наблюдается практически максимальная производительность (70–80 кг/мин), минимальный размер щеп (около 2 см) и достаточно мала потребляемая мощность (5–6 кВт).

Частота вращения практически не оказывает влияние на угол вылета щеп из устройства (рис. 4). На рисунке 4 характер движения каждой щепы, покидающей рубительный диск, показан отрезком, начало которого соответствует положению щепы в момент вылета, а направление и длина отрезка представляют собой вектор скорости щепы.

Несмотря на постоянство углового распределения скоростей, с увеличением частоты вращения увеличивается, приблизительно пропорционально, средняя скорость движения щеп. Полученные распределения скоростей по углам вылета позволяют обосновать оптимальную конструкцию и форму щепопровода.

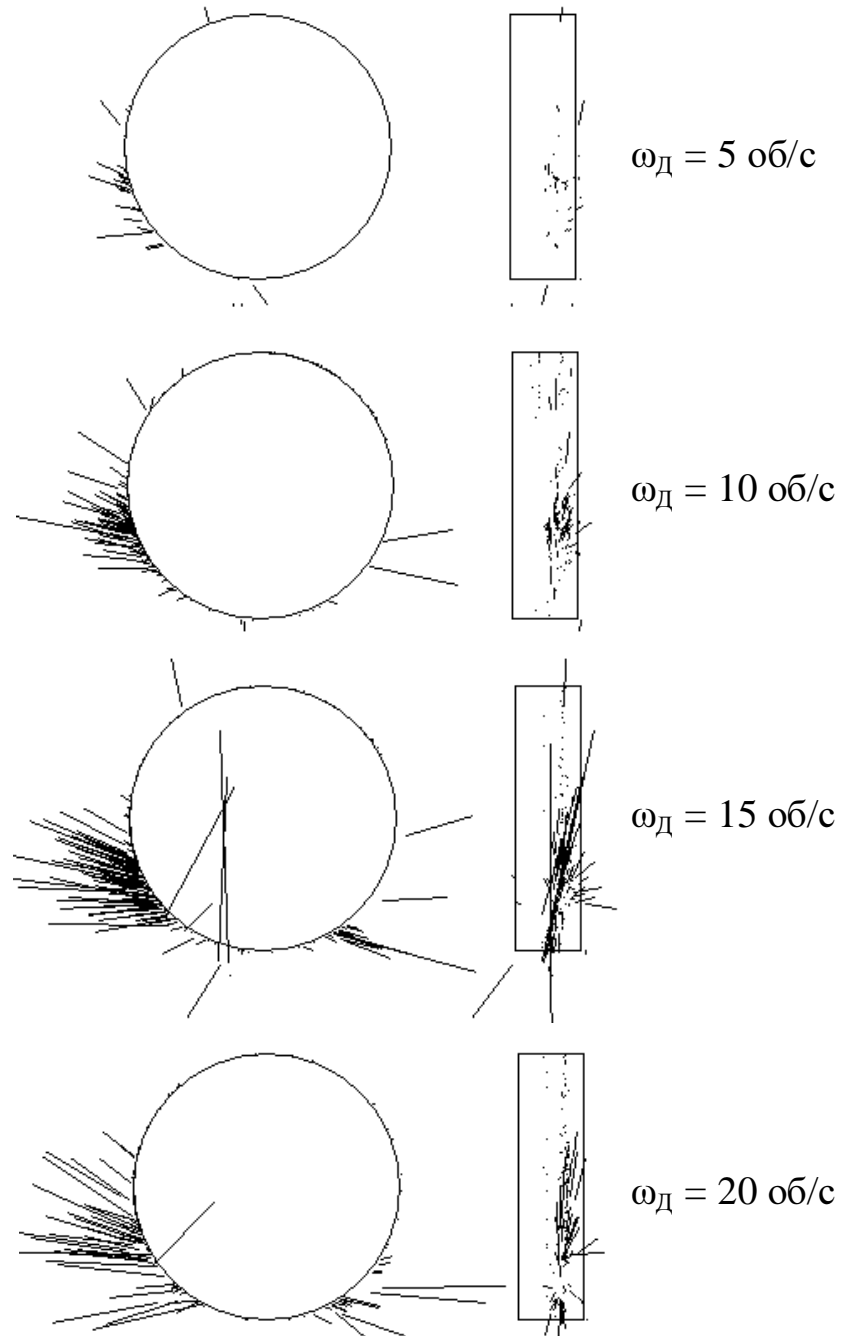


Рис. 4. Схемы распределения скоростей и положений щеп, покидающих рубительный диск, при различных частотах ω_D вращения диска.

С увеличением частоты вращения валцов производительность постоянно растет,

вплоть до частоты 25 об/с; размер щепы начиная с 8 об/с практически не изменяется и составляет около 2,2 см, а потребляемая мощность начиная с 8 об/с уменьшается. Таким образом, результаты моделирования позволяют утверждать, что в устройстве целесообразно использовать высокую частоту вращения подающих валцов 20–25 об/с.

Предлагаемая конструкция устройства должна эффективно измельчать порубочные остатки практически независимо от их параметров: длины, диаметра, породы древесины и т.п. Для оценки влияния параметров порубочных остатков проведена серия компьютерных экспериментов, в которой изменялась средняя длина ветвей $l_{\text{ПО}}$ от 15 до 150 см с шагом 5 см.

Установлено, что качество измельчения (средний размер щепы d) практически не зависит от длины ветвей. В то же время значения производительности и потребляемой мощности постоянно растут с увеличением средней длины загруженных в патрон ветвей. Зависимости $P(l_{\text{ПО}})$ и $N(l_{\text{ПО}})$ имеют приблизительно одинаковый характер, что вполне понятно, так как потребляемая мощность сильно коррелирует с производительностью.

В диапазоне малых длин ветвей (0–80 см) увеличение длины $l_{\text{ПО}}$ вызывает увеличение общей массы подаваемых порубочных остатков, поэтому производительность и мощность увеличиваются приблизительно пропорционально. В диапазоне же больших длин ветвей (100–150 см) пропускная способность рубительного диска уже ограничивает массу проходящих порубочных остатков, в результате чего зависимости $P(l_{\text{ПО}})$ и $N(l_{\text{ПО}})$ постепенно выходят на насыщение. В целом можно утверждать, что в широком диапазоне изменения длины порубочных остатков устройство остается работоспособным, а качество измельчения не зависит от длины порубочных остатков.

Список литературы

1. Винокуров В.Н. Машины и механизмы лесного хозяйства и садово-паркового строительства : учебник для вузов / В.Н. Винокуров, Г.В. Силаев, А.А. Золотаревский ; под ред. В.Н. Винокурова. – М. : Академия, 2004. – 400 с.
2. Устройство для измельчения порубочных остатков : Пат. 2354545 Рос. Федерация : А 01 G 23/06 / Цыплаков В.В., Шпортько О.Н., Фокин С.В. ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – № 2007147160 ; заявл. 18.12.2007 ; опубл. 10.05.2009, Бюл. № 13.
3. Застенский Л.С. Машины и механизмы лесного хозяйства : учеб. пособие; МГУЛ. – М., 2005. – 240 с.
4. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем : учебное пособие – М.: Высш. шк., 1998. – 319 с.

5. Грановский В.А. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях : учеб. пособие / В.А. Грановский, Т.Н. Сирая. – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 288 с.

Рецензенты

Цыплаков В.В., д.с.-х.н., профессор, заведующий кафедрой «Механизация лесного хозяйства и лесомелиорация», ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», г. Саратов.

Панкратов В.М., д.т.н., профессор, заместитель директора Института проблем точной механики и управления РАН, г. Саратов.