

УДК 674.05

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.2.149

### **Влияние формы режущей кромки и передней поверхности ножа на силовые показатели измельчения древесины**

*Э.О. Булатасов, асп.*

*В.П. Попов, канд. техн. наук, доц.*

*В.П. Ханин, канд. техн. наук, доц.*

Оренбургский государственный университет, пр. Победы, д. 13, г. Оренбург, Россия, 460018; e-mail: Eduard190319@mail.ru

Рациональное использование древесных отходов является одной из важнейших задач комплексной переработки древесного сырья. Для применения разноразмерных древесных отходов в производствах древесно-цементных материалов и твердого биотоплива необходимо их измельчать на специальных стружечных станках. При этом требования, предъявляемые к качеству измельченной древесины для указанных производств, ограничиваются в основном размерами древесных частиц и содержанием примесей, что позволяет оценивать эффективность работы режущих элементов при измельчении всего объема древесины в стружки требуемых размеров только величиной силы резания или ее производных. В большинстве случаев при резании древесины передний угол режущего инструмента конструктивно является величиной постоянной (по длине режущей кромки), а режущая кромка может иметь прямую, с наклоном, треугольную или радиусную форму. Качественные показатели процесса кругового резания режущим инструментом с перечисленными выше формами получены при обработке древесных материалов дисковыми пилами с твердосплавными пластинами. Силовые показатели процесса резания (с идентичными условиями) как древесины, так и древесных материалов немногочисленны, а с использованием режущего инструмента, имеющего ступенчатую форму режущей кромки и передней поверхности, а также несколько углов резания, практически отсутствуют. Настоящее исследование направлено на нахождение оптимальных параметров режущего инструмента (ножа), обеспечивающих наименьшие затраты энергии при первичном измельчении древесины фрезерованием. Экспериментальные исследования проводили на специальной установке, позволяющей моделировать процесс измельчения древесины фрезерованием. Применяли пять типов ножей, имеющих различные геометрические формы режущих кромок и передних поверхностей. Эффективность работы различных типов ножей оценивали величиной крутящего момента. В результате проведенного сравнительного анализа всех форм режущих элементов определена наиболее эффективная форма ножа, установлена зависимость крутящего момента от подачи на нож при статическом резании древесины сосны для трех главных направлений резания.

---

*Для цитирования:* Булатасов Э.О., Попов В.П., Ханин В.П. Влияние формы режущей кромки и передней поверхности ножа на силовые показатели измельчения древесины // Лесн. журн. 2017. № 2. С.149–159. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.2.149

*Ключевые слова:* измельчение древесины фрезерованием, оптимальная форма ножа, экспериментальная установка, крутящий момент, подача на нож, силовые показатели измельчения древесины.

### *Введение*

Проблема комплексного использования древесины была и остается одной из наиболее актуальных для отраслей, занимающихся заготовкой, первичной обработкой и переработкой древесины [7]. До настоящего времени во всей России полезно не используется половина, а отдельно по Сибири – до двух третей биомассы дерева [11]. Расчетная лесосека, достигающая в целом по стране 550 млн м<sup>3</sup>/год, используется в среднем только на 35 % [3].

Производство практически всех технологических операций при лесоразработках, обработке или переработке древесины связано с образованием древесных отходов, являющихся вторичными древесными ресурсами. Из них или с их добавками можно производить новую продукцию [12]. Древесные отходы бывают кусковыми (твердыми) и мягкими (опилки, стружка, пыль) [4]. Использование древесных отходов во многом зависит от вида и места их образования [12].

К отходам относят лесосечные отходы (сучья, ветки, пни, крона, тонкомерная неликвидная древесина, обломки деревьев и стволов и др.), их объем составляет 22...26 % [4]. На деревообрабатывающих предприятиях – это горбыли, рейки, откомлевки, обрезки, опилки, стружка, их объем – 25 % и выше [4]. На фанерных – это карандаши, шпон-рванина, обрезки бревен, кора, опилки, обрезки фанеры, пыль и др., их объем 50...55 % [4]. Отходы тарного производства достигают 32 %, паркетного – 60 % [4]. Кусковые отходы лесопиления в нашей стране перерабатывают в основном в технологическую щепу [10], для этого применяют дисковые и барабанные рубительные машины [2].

Рациональный процесс первичного измельчения древесины определяется минимальным энергопотреблением и хорошим качеством среза, обеспечивающим заданные размеры частиц древесины [8].

С уменьшением толщины срезаемой стружки удельная работа резания (работа, затрачиваемая на превращение в стружку единицы объема древесины) увеличивается в связи с тем, что для разделения какого-либо объема древесины на мелкие частицы требуется затратить больше работы, чем при делении на более крупные. Таким образом, с точки зрения уменьшения расхода энергии на резание при необходимости превратить в стружки определенный объем древесины более выгодно срезать толстые стружки, помня, что качество обрабатываемой поверхности при этом ухудшается [6].

В некоторых производствах (например, древесно-цементных материалов – ГОСТ Р 54854–2011, гидролизном – ГОСТ 18320–78, твердого биотоплива – ГОСТ Р 54220–2010 и ГОСТ Р 55553–2013, полимерных композиционных материалов – ГОСТ 16361–87) требования к качеству измельченной древесины ограничиваются в основном размерами древесных частиц и содержанием примесей.

В целях уменьшения расхода энергии на резание при первичном измельчении древесины для перечисленных выше производств необходимо измельчать древесину в стружки большой толщины, и силовые показатели процесса измельчения в этом случае являются основными.

В качестве оборудования для измельчения древесины резанием применяют специальные стружечные станки, которые отличаются конструкцией режущего механизма и питателя, назначением и видом перерабатываемого сырья [5]. Стружечные станки по конструкции режущего механизма бывают следующих типов: чашеобразные, фрезерные, дисковые, барабанные, роторные [1]. Механизм резания стружечных станков оснащен режущими инструментами в виде ножей, резцов, зубьев, нахождение оптимальных параметров которых является предметом научных исследований.

Цель настоящего исследования – определение оптимальной формы режущего инструмента (ножа) в зависимости от геометрической формы его режущей кромки и передней поверхности при первичном измельчении древесины фрезерованием в осевом, радиальном и тангенциальном направлениях с получением стружек требуемых размеров.

#### Объекты и методы исследования

Для проведения исследования разработана конструкция экспериментальной установки (рис. 1), позволяющей моделировать процесс измельчения древесины фрезерованием.

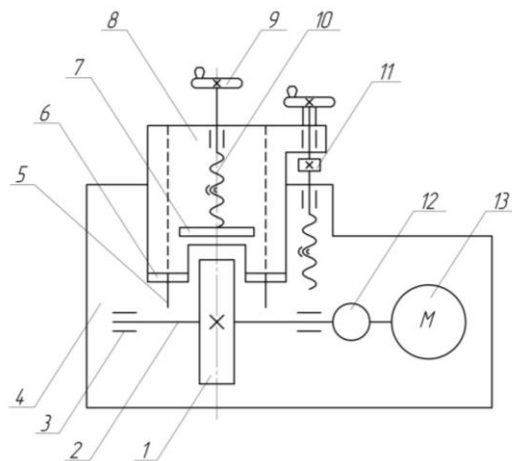


Рис. 1. Кинематическая схема экспериментальной установки: 1 – диск с ножами; 2 – вал; 3 – подшипниковый узел; 4 – станина; 5 – направляющая опора; 6 – упорная пластина; 7 – прижимная плита; 8 – салазки; 9 – маховичок; 10 – винт с гайкой; 11 – диск; 12 – динамометрическое устройство; 13 – электродвигатель

Установка включает силовой и измерительный модули, а также механизм подачи, конструктивно выполненные на одной станине. Силовой модуль состоит из вала круглого сечения, смонтированного на подшипниковых опорах. На валу с помощью шпоночного соединения закреплен диск, параметры которого подобраны в зависимости от условий резания. В данном эксперименте использовали диск диаметром 132 мм и шириной 12 мм. По образующей диска имеются два симметрично расположенных паза, в которые устанавливаются ножи. Диаметр диска с установленными ножами равен 156 мм. Для исключения вылета ножей и более жесткого закрепления их в пазах предусмотрен зажим по задней части ножа. Все ножи отличаются друг от друга геометрическими формами режущей кромки и передней поверхности, имеют ширину 12 мм и выступ над поверхностью диска 12 мм (рис. 2).

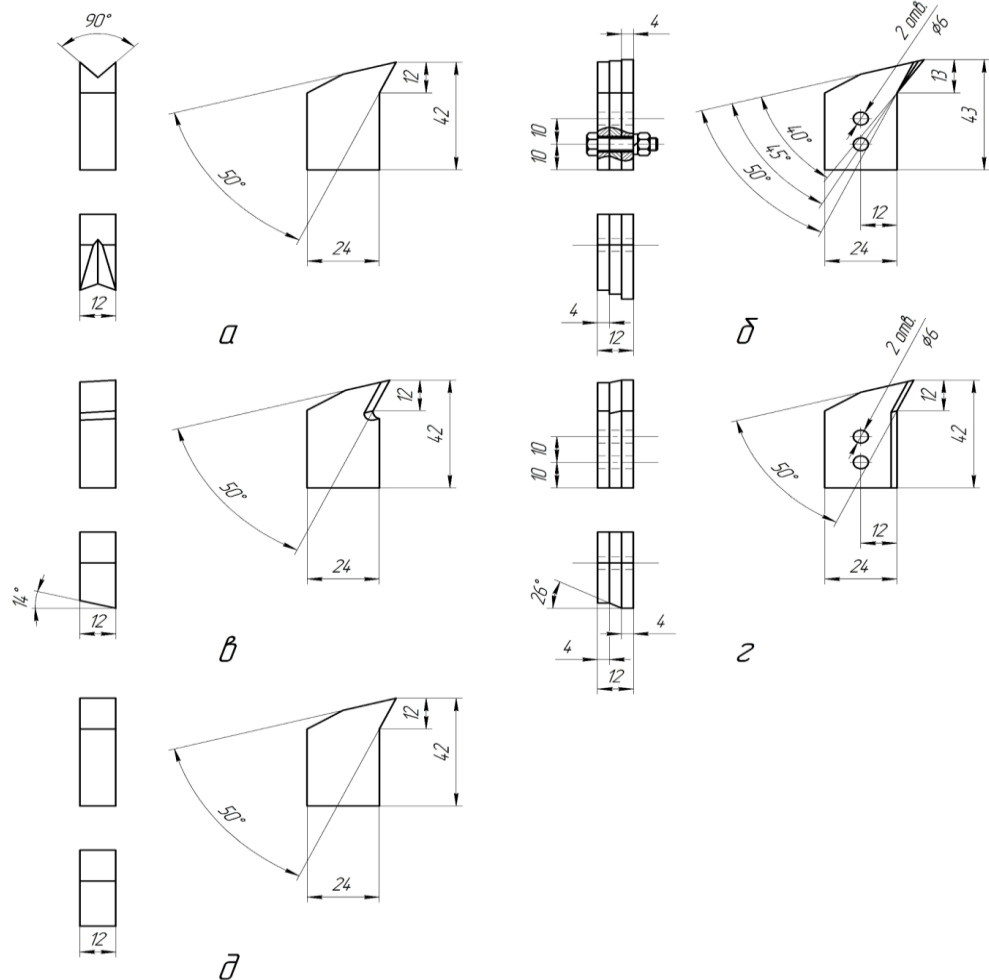


Рис. 2. Конструкции ножей: а – нож № 1; б – № 2; в – № 3; г – № 4; д – № 5

Измерительный модуль установки (см. рис. 1) позволяет регулировать крутящий момент в зависимости от силы резания, возникающей на режущей кромке ножа. В качестве датчика крутящего момента применено динамометрическое устройство. Механизм подачи типа «салазки» перемещается по направляющим опорам перпендикулярно оси вращения режущего инструмента. На салазках имеются прижимное устройство и упорные пластины, между которыми зажимается заготовка. Подача осуществляется вращением маховичка, закрепленного на ходовом винте, гайка которого закреплена на станине, сам винт соединен с салазками. Привод установки предусмотрен статическим или динамическим.

Исследования проводили при следующих условиях: резание статическое; диаметр окружности резания  $d = 156$  мм; ширина резания 12 мм; задний угол  $\alpha = 15^\circ$ ; углы резания  $\delta = 65^\circ$  (для ножей № 1, 3–5) и  $\delta = 55, 60, 65^\circ$  (для ножа № 2); ножи острые; материал ножей – легированная рессорно-пружинная сталь 60С2Г (ГОСТ 14959–79); подача на нож  $S_z = 1 \dots 12$  мм; порода древесины – сосна (плотность  $\rho_{12} = 0,40$  г/см<sup>3</sup>); влажность древесины  $W = 18$  %. Нож № 1 имеет радиусную форму режущей кромки и прямолинейную переднюю поверхность. Нож № 2 отличается ступенчатой режущей кромкой и ступенчатой передней поверхностью (всего три ступени). Угол резания первой ступени  $\delta = 55^\circ$ , второй –  $60^\circ$ , третьей –  $65^\circ$ . Нож № 3 имеет односторонний наклон режущей кромки (угол косой заточки  $\omega = 14^\circ$ ) и односторонний наклон передней поверхности. Для ножа № 4, как и для ножа № 2, характерна трехступенчатая форма режущей кромки и передней поверхности, только угол резания для всех трех ступеней одинаков  $\delta = 65^\circ$ , вторая ступень имеет односторонний наклон передней поверхности (угол косой заточки  $\omega = 26^\circ$ ), являясь плавным переходом между первой и третьей ступенями. Нож № 5 имеет прямую режущую кромку и прямолинейную переднюю поверхность. Классификация форм ножей принята в соответствии с [9, 13].

Резание проводили путем приложения крутящего момента к рабочему валу. При этом измеряли крутящий момент в зависимости от подачи на нож.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

В результате исследований установлено следующее.

При резании древесины вдоль волокон получались стружки изогнутой формы, при резании древесины поперек волокон на малых подачах – короткие и ломкие стружки, состоящие из отдельных элементов, слабо связанных между собой, на больших подачах – элементные стружки, но более прочно связанные между собой. Иногда в процессе срезания стружки большой толщины в поперечном направлении происходило раскалывание заготовки вдоль волокон. При резании древесины в торец получались частично не рассыпавшиеся стружки.

При резании древесины ножом (№ 5) с прямолинейной режущей кромкой и прямолинейной передней поверхностью удавалось срезать стружки: вдоль волокон – при подаче  $S_z = 12$  мм, в торец – при  $S_z = 8$  мм, поперек волокон – при  $S_z = 7$  мм. В редких случаях удавалось срезать стружки большей толщины, так как при подаче выше указанных значений происходило заклинивание ножа в древесине.

При резании древесины ножом № 5 на малых подачах толщина образуемой стружки была соизмерима с величиной подачи. При резании древесины вдоль волокон при  $S_z = 12$  мм образовывалась стружка средней толщины – 9 мм (справедливо для всех ножей). Это объясняется тем, что срезаемая стружка деформировалась передней гранью ножа и сдавливанием между корпусом режущего инструмента и заготовкой. При срезании стружек большой толщины (при  $S_z = 12$  мм) вдоль волокон различными ножами их объем был примерно одинаков.

Полученные экспериментальные данные позволили установить связь между крутящим моментом  $M$  и подачей на нож  $S_z$  и построить графики этой зависимости для трех главных случаев резания (рис. 3).

Анализ полученных результатов выявил общее повышение крутящего момента в случае увеличения подачи на нож при статическом резании древесины для всех применяемых режущих элементов, что согласуется с данными [14–16].

При срезании стружек толщиной 7 и 8 мм ножом (№ 5) с прямолинейной режущей кромкой и прямолинейной передней поверхностью для рассматриваемых трех основных направлений резания установлено, что наибольший крутящий момент образуется при резании поперек волокон. Он превышает крутящий момент для торцового и продольного резания соответственно в 1,1 и 1,3 раза.

Сравнительный анализ выявил, что схожие силовые показатели имеют ножи № 2 и 3, а также № 4 и 5. Форма ножа № 2 в процессе резания обеспечивает лучшее врезание (затягивание) ножа на подаче  $S_z = 12$  мм, что связано с меньшим углом заострения первой и второй ступени этого ножа ( $\beta_1 = 40^\circ$ ,  $\beta_2 = 45^\circ$ ) по сравнению с углами заострения всех остальных ножей ( $\beta = 50^\circ$ ). Нож № 3, имеющий более острую режущую кромку по сравнению с прямой режущей кромкой ножа № 4, обеспечивает меньшие затраты энергии на измельчение.

За счет наклонной передней поверхности ножей № 2, 3 и 4 в процессе резания создаются лучшие условия для отвода стружки под переднюю поверхность ножа, что вносит определенный вклад в снижение действительной силы резания.

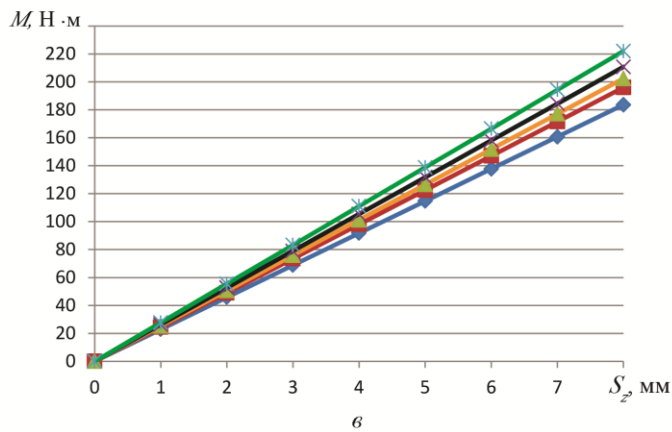
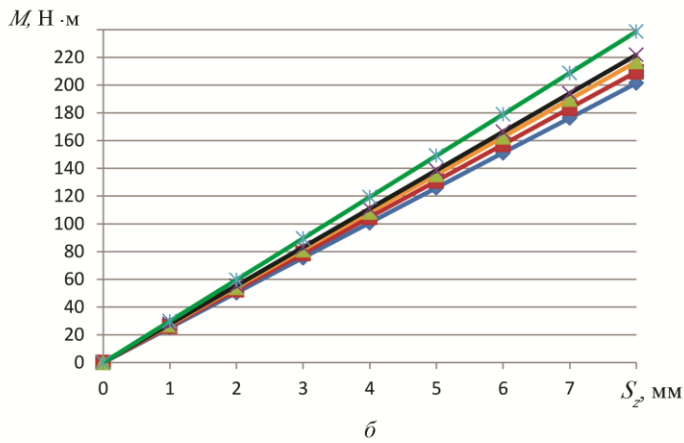
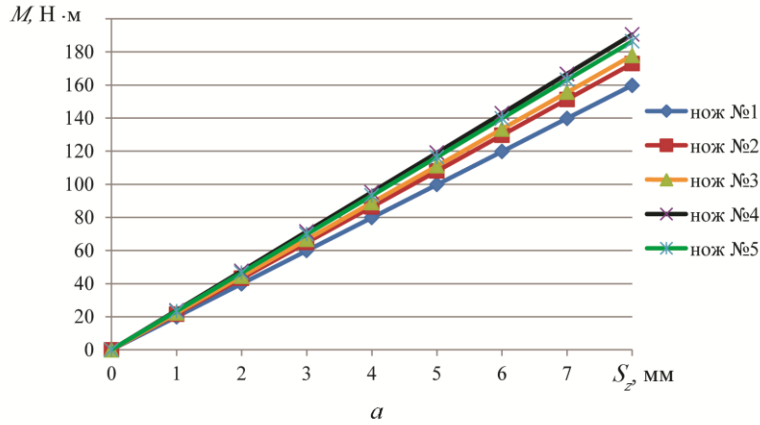


Рис. 3. Зависимость крутящего момента от подачи на нож при фрезеровании древесины сосны:  $a$  – вдоль волокон (секущая плоскость радиальная);  $b$  – поперек волокон (скорость резания параллельна тангенциальной оси);  $в$  – в торец (секущая плоскость тангенциальная)

Радиусная форма режущей кромки ножа № 1 условно состоит из двух режущих кромок, имеющих разносторонний наклон по отношению друг к другу. Эти режущие кромки являются более острыми по сравнению с прямой режущей кромкой ножа № 5 и обеспечивают эффект подрезки наружных поверхностей обрабатываемого материала [9]. Наклон режущей кромки ножа посредством косой заточки приводит к кинематическому заострению ножа, при этом создаются условия скользящего резания, что обеспечивает более чистое и легкое перерезание волокон [1]. Радиусная форма режущей кромки ножа № 1 позволяет разделить нагрузку на измельчаемую древесину от сил резания во времени, а сила резания, необходимая для снятия стружки, распределяется между двумя вершинами радиусного ножа. Так как при срезании стружки с древесины образуется опережающая трещина, распространяющаяся по образцу с определенной скоростью, значит разрушение древесины происходит постепенно и для более легкого перерезания волокон изменение локальных напряжений во времени на режущей кромке ножа (при его внедрении в древесину) должно происходить более плавно и постепенно. Это требование обеспечивает геометрическая форма ножа № 1.

#### *Выводы*

1. Согласно полученным результатам, наиболее эффективной можно считать радиусную форму режущей кромки и соответствующую ей форму передней поверхности ножа.
2. Сопоставление полученных экспериментальных данных с соответствующими показателями резания древесины при динамическом режиме можно использовать для объяснения влияния скорости резания на силу резания и ее производные.
3. Ножи предлагаемой конструкции с незначительной доработкой могут быть использованы в конструкции роторных ножниц и фрезерных измельчителей пней.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бершадский А.Л., Цветкова Н.И. Резание древесины: учеб. Минск: Вышэйш. шк., 1975. 303 с.
2. Вальщиков Н.М., Лицман Э.П. Рубительные машины: моногр. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 96 с.
3. Герасимов Ю.Ю., Сюньев В.С., Соколов А.П., Селиверстов А.А., Катаров В.К., Суханов Ю.В., Рожин Д.В., Тюрлик И.И., Фирсов М.В. Рациональное использование древесины и лесосечных отходов в биоэнергетике: оценка потенциалов и технологических подходов // Науч. журн. Куб. ГАУ. 2011. №73(09). С. 4.
4. Гомонай М.В. Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технологии, режимы работы: моногр. М.: МГУЛ, 2006. 68 с.
5. Демидов Ю.М. Измельчение древесины для производства древесностружечных плит. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 144 с.



6. *Залегаллер Б.Г., Ласточкин П.В., Бойков С.П.* Технология и оборудование лесных складов: учеб. для вузов. 3-е изд., испр. и доп. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 352 с.
7. *Захаренко Г.П.* Комплексное использование древесины: учеб. пособие. Йошкар-Ола: Мар. ГТУ, 2006. 104 с.
8. *Манжос Ф.М.* Дереворежущие станки. 2-е изд., перераб. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 456 с.
9. *Морозов В.Г.* Дереворежущий инструмент: справ. М.: Лесн. пром-сть, 1988. 344 с.
10. *Отлев И.А., Штейнберг Ц.Б.* Справочник по древесностружечным плитам. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 240 с.
11. *Панькив О.Г., Демина Л.Н., Паршикова В.Н., Степень Р.А.* Эффективность переработки древесной зелени пихты различными методами // *Фундамент. исслед.* 2012. № 1. С. 168–171.
12. *Сажин В.С., Титунин А.А., Новиков А.Н.* Комплексное использование древесины: учеб. пособие. Кострома: Костром. ГТУ, 1997. 82 с.
13. *Шписсхофер Т.* Роторные ножницы для измельчения особо громоздких отходов: пат. 2140822 РФ; № 97102104/03, заявл. 30.06.95; опубл. 10.11.99. 10 с.
14. *Beniak J., Ondruska J., Cacko V.* Design Process of Energy Effective Shredding Machines for Biomass Treatment // *Acta Polytechnica.* 2012. Vol. 52, No. 5. Pp. 133–137.
15. *Strehler C.* Development of Near Net Shaped Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/SiC Composites with Optimised Grain Boundary Phase for Industrial Wood Machining: Dr. Eng. Sci. Diss. Freiberg, 2011. 90 p.
16. *Weber A.* Magnetostriktive Schnittkraftmessungen beim Holzfräsen // *Holz als Roh- und Werkstoff.* 1962. Vol. 20. No. 12. Pp. 486–492.

Поступила 23.12.16

UDC 674.05

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.2.149

### **The Impact of the Shape of the Knife Cutting Edge and Face Surface on the Power Indicators of Wood Shredding**

*E.O. Bulatasov, Postgraduate Student*

*V.P. Popov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*

*V.P. Khanin, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*

Orenburg State University, pr. Pobedy, 13, Orenburg, 460018, Russian Federation; e-mail: Eduard190319@mail.ru

The rational use of wood waste is one of the most important tasks of the complex processing of wood raw material. Different-sized wood waste should be shredded in the special chipping machines for the sawdust cement and solid biofuels production. The quality requirements for disintegrated wood for these productions are mainly limited by sizes of wood par-

---

*For citation:* Bulatasov E.O., Popov V.P., Khanin V.P. The Impact of the Shape of the Knife Cutting Edge and Face Surface on the Power Indicators of Wood Shredding. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 2, pp.149–159. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.2.149

ticles and content of impurities, which allow evaluating the efficiency of the cutting elements during shredding of a total volume of wood into chips of the required dimensions only by the intensity of the cutting force or its derivatives. In most cases, when wood cutting, the face angle constructively is a constant value (the length of the cutting edge), and the cutting edge can have a straight, inclined, triangular or radius shape. Quality indicators of the circular cutting process by a cutting tool of these forms are obtained by wood materials processing with circular saws with carbide inserts. Power indicators of the cutting process (with identical conditions) of wood and wood-based materials are not numerous; the power indicators when using a cutting tool with a stepped shape of the cutting edge and the front surface, and a few cutting angles are virtually absent. The study is aimed at finding the optimal parameters of a cutting tool (knife), providing the lowest energy consumption in the primary wood shredding by milling. The experimental studies are carried out in a special test installation, which allows simulating the process of wood shredding by milling. Five types of blades of different geometric shapes of cutting edges and front surfaces are used. The effectiveness of various types of blades is evaluated by a torque value. The most effective knife shape is determined as a result of a comparative analysis of all shapes of cutting elements. The dependence of the torque on the knife feed at a static pine wood cutting for three main directions of cutting is established.

*Keywords:* wood shredding by milling, optimum knife shape, test installation, torque, knife feed, power indicator of wood shredding.

## REFERENCES

1. Bershadskiy A.L., Tsvetkova N.I. *Rezanie drevesiny: ucheb.* [Wood Cutting]. Minsk, 1975. 304 p.
2. Val'shchikov N.M., Litsman E.P. *Rubitel'nye mashiny: monogr.* [Chipping Machines]. Moscow, 1980. 96 p.
3. Gerasimov Yu.Yu., Syuney V.S., Sokolov A.P., Seliverstov A.A., Katarov V.K., Sukhanov Yu.V., Rozhin D.V., Tyurlik I.I., Firsov M.V. Ratsional'noe ispol'zovanie drevesiny i lesosechnykh otkhodov v bioenergetike: otsenka potentsialov i tekhnologicheskikh podkhodov [Rational Energy Use of Wood-Based Biomass: Estimation of Potentials and Technology]. *Nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Scientific Journal of KubSAU], 2011, no. 73(09), pp. 582–593.
4. Gomonay M.V. *Proizvodstvo toplivnykh briketov. Drevsnoe syr'e, oborudovanie, tekhnologii, rezhimy raboty: monogr.* [Production of Fuel Briquettes. Wood Raw Materials, Equipment, Technology, Modes of Operation]. Moscow, 2006. 68 p.
5. Demidov Yu.M. *Izmel'chenie drevesiny dlya proizvodstva drevsnostruzhechnykh plit* [Wood Shredding for the Particle Boards Production]. Moscow, 1974. 144 p.
6. Zalegaller B.G., Lastochkin P.V., Boykov S.P. *Tekhnologiya i oborudovanie lesnykh skladov: ucheb. dlya vuzov.* [Technology and Equipment for Timber Yards]. Moscow, 1984. 352 p.
7. Zakharenko G. P. *Kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny: ucheb. posobie* [Integrated Use of Wood]. Yoshkar-Ola, 2006. 104 p.
8. Manzhos F.M. *Derevrezhushchie stanki.* [Wood-Cutting Machines]. Moscow, 1974. 456 p.
9. Morozov V.G. *Derevrezhushchiy instrument: spravochnik* [Wood-Cutting Tool]. Moscow, 1988. 344 p.

10. Otlev I.A., Shteynberg Ts.B. *Spravochnik po drevesnostruzhechnym plitam* [Wood Chipboard Guide]. Moscow, 1983. 240 p.
11. Pan'kiv O.G., Demina L.N., Parshikova V.N., Stepen' R.A. Effektivnost' pererabotki drevesnoy zeleni pikhty razlichnymi metodami [Efficiency of Processing of Wood Greens of the Fir Various Methods]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Research], 2012, no. 1, pp. 168–171.
12. Sazhin V.S., Titunin A.A., Novikov A.N. *Kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny: ucheb. posobie* [Integrated Use of Wood]. Kostroma, 1997. 82 p.
13. Shpisskhofer T. *Rotornye nozhnitsy dlya izmel'cheniya osobo gromozdkikh ot-khodov* [Rotary Shears for Particularly Bulky Waste Shredding]. Patent RF, no. 2140822, 1995.
14. Beniak J., Ondruska J., Cacko V. Design Process of Energy Effective Shredding Machines for Biomass Treatment. *Acta Polytechnica*, 2012, vol. 52, no. 5, pp. 133–137.
15. Strehler C. *Development of Near Net Shaped Si3N4/SiC Composites with Optimised Grain Boundary Phase for Industrial Wood Machining*: Dr. Eng. Sci. Diss. Freiberg, 2011. 90 p.
16. Weber A. Magnetostriktive Schnittkraftmessungen beim Holzfräsen. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 1962, vol. 20, no. 12, pp. 486–492.

Received on December 23, 2016