






АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДИСКОВЫХ РУБИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Сергей В. Малюков¹✉, malyukovsergey@yandex.ru,  <https://orcid.org/0000-0003-2098-154X>

Алексей А. Аксенов¹, aaa-aksenov@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-9710-1013>

Маргарита А. Малюкова¹, lrita@bk.ru,  <https://orcid.org/0000-0001-8174-0358>

¹*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия*

В последнее время значительно увеличилась заготовка древесины, вследствие чего на вырубках возросли объемы порубочных остатков, отходы в деревообрабатывающей промышленности также прибавились. Быстрый рост отходов потребовал переработки больших объемов древесной массы и создания новых высокопроизводительных машин, способных измельчить ее в щепу. Обычно щепа используется в качестве топливных гранул, а также для изготовления панелей из ДСП. Операция по измельчению древесины в щепу может производиться во время лесозаготовки или через несколько дней после рубки деревьев. В данной статье были рассмотрены различные типы дисковых рубительных машин. Они были распределены по отличительным конструктивным признакам. Описаны отличительные особенности машин по производительности, мощности, скорости вращения, числу режущих ножей, габаритам и весу самой машины, а также по виду и размерам перерабатываемой древесины, способам ее подачи в машину и отводу от нее щепы. Показано, что дисковые рубительные машины нашли широкое применение при изготовлении технологической щепы в целлюлозно-бумажной, деревообрабатывающей, лесной и других отраслях промышленности. Проведенный обзор базируется на изучении отечественного и иностранного материала, анализе работы существующих машин различных типов, а также на многочисленных экспериментальных и теоретических исследованиях, выполненных различными авторами. Проведенный нами обзор дисковых рубительных машин будет способствовать более рациональному использованию и модернизации существующего парка рубительных машин и созданию нового экономически выгодного оборудования по измельчению древесины в щепу, отвечающего современному уровню развития техники и данного производства.


Ключевые слова: дисковые рубительные машины, щепа, геликоидальные рубительные машины, древесные порубочные остатки, отходы деревообработки.


Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Малюков, С. В. Анализ конструкций и режимов работы дисковых рубительных машин / С. В. Малюков, А. А. Аксенов, М. А. Малюкова // Лесотехнический журнал. – 2021. – Т. 11. – № 4 (44). – С. 139–149. – Библиогр.: с. 147–149 (14 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.4/12>.

Поступила: 20.10.2021 **Принята к публикации:** 11.12.2021 **Опубликована онлайн:** 30.12.2021

ANALYSIS OF DESIGNS AND OPERATING MODES OF DISC CHIPPING MACHINES

Sergey V Malyukov¹ ✉, malyukovsergey@yandex.ru,  <https://orcid.org/0000-0003-2098-154X>

Aleksey A Aksenov¹, aaa-aksenov@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-9710-1013>

Margarita A Malyukova¹, lrita@bk.ru,  <https://orcid.org/0000-0001-8174-0358>

¹ FSBEI HE Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 394087, 8 Timiryazeva street, Voronezh, Russian Federation

Abstract

Recently, timber harvesting has increased significantly. As a result of which the volume of felling residues in felling areas and waste in the woodworking industry has also increased. The rapid growth of waste necessitated the processing of large volumes of wood pulp and the creation of new high-performance machines capable of shredding it into chips. Chips are usually used as fuel pellets, as well as for the manufacture of chipboard panels. The operation of chipping wood can be carried out during harvesting or a few days after the trees have been cut down. This article has examined the various types of disc chippers. They were distributed according to distinctive design features. The distinctive features of machines in terms of productivity, power, rotation speed, the number of cutting knives, dimensions and weight of the machine itself, as well as the type and size of the processed wood, the ways of feeding it into the machine and removing chips from it are described. It is shown that disk chippers are widely used in the manufacture of technological chips in the pulp and paper, woodworking, forestry and other industries. The review is based on the study of domestic and foreign material, analysis of the operation of existing machines of various types, as well as on numerous experimental and theoretical studies carried out by various authors. Our review of disc chippers will contribute to a more rational use and modernization of the existing chippers and the creation of new cost-effective equipment for chipping wood into chips, which meets the current level of development of technology and production.

Keywords: disc chippers, wood chips, helicoidal chippers, wood residues, woodworking waste.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Malyukov S.V., Aksenov A.A., Malyukova M.A. (2021) Analysis of designs and operating modes of disk chippers. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 11, No. 4 (44), pp. 139-149 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.4/12>.

Received: 20.10.2021 **Revised:** 01.12.2021 **Accepted:** 11.12.2021 **Published online:** 30.12.2021

Введение

Для производства технологической щепы из древесины применяются рубительные машины разных типов [1], которые определяют количественные и качественные показатели работы всего комплекса машин технологического потока от распиловки древесного сырья, окорки балансов, их рубки на щепу [2, 3] до сортирования щепы.

В целлюлозно-бумажной промышленности [4] для поперечной распиловки древесины на стволы применяют круглые пилы различных модификаций с общим названием пильные станки, обладающие высокой производительностью. Следующей за распиловкой

операцией является окорка. Это необходимо для обеспечения более высокой чистоты и качества продукции и полного использования оборудования, химикатов и других материалов [5]. После окорки основной операцией традиционного метода приготовления древесной щепы является измельчение древесины в рубительных машинах [6].

В условиях целлюлозно-бумажной промышленности в большей мере используются дисковые рубительные машины для получения щепы из древесины.

Всевозможные типы рубительных машин, для удобства анализа и рассмотрения, распределены по отличительным конструктивным признакам. Сущест-

вующие типы рубительных машин нами распределены по следующим основным группам: 1) малоножевые; 2) многоножевые; 3) многоножевые с геликоидальной поверхностью ножей и диска; 4) с горизонтальной подачей древесины; 5) с наклонным и горизонтальным диском; 6) планетарные; 7) для отходов лесопиления и деревообработки; 8) передвижные машины; 9) спиральные машины.

На процесс рубки древесины оказывает влияние большое число факторов, вытекающих из свойств самой древесины и режимов рубки, а также из статической и кинематической геометрии режущего инструмента [7, 8].

Оценка каждой из моделей рубительных машин производится по качеству щепы, расходу энергии на ее получение и по конструктивным признакам машин, определяющим затраты, связанные с ее установкой и эксплуатацией. Энергетическая оценка рубительных машин производится по удельному расходу энергии, т.е. по количеству энергии, расходуемой на единицу объема щепы.

На сравнительную оценку рубительных машин различных типов оказывают существенное влияние их производительность, мощность и тип приводного двигателя, скорость вращения, число режущих ножей, размеры ножевого диска, габарит и вес самой машины [9, 10], а также вид и размеры перерабатываемой древесины, способы ее подачи в машину и отвода от нее щепы.

Материалы и методы

Для анализа эффективности работы дисковых рубительных машин изучено множество научных материалов. В процессе поиска были рассмотрены труды как отечественных, так и зарубежных ученых. Литературный поиск проводился в различных базах данных и включал в себя не только электронные ресурсы (eLIBRARY, КиберЛенинка, Академия Google, Scopus, Web of Science) со следующими запросами: (дисковые рубительные машины) OR (измельчение порубочных остатков) OR (disc chippers) OR (wood chips), но и учебники, учебные пособия, диссертации из фондов научной библиотеки ВГЛУ и Никитинской библиотеки за период с 1980 по 2020 годы.

Патентный поиск проводили по базам данных ФИПС, Яндекс.Патенты и Lens.org., используя следующую форму запроса ключевых слов: (дисковые

рубительные машины) OR (измельчение порубочных остатков) OR (disc chippers) OR (wood chips). Из патентного и систематического поиска были отобраны наиболее релевантные конструкции рубительных машин и проведен статистический анализ степени их сходства и различия по параметрам (количество ножей, сечение загрузочного устройства, габаритные размеры, масса) и режимам работы (мощность, производительность, скорость вращения диска). Оценка степени сходства и различия проводили с использованием иерархической диаграммы сходства, оценивающей удаленность признаков от центра на основании меры квадрата Эвклидова расстояния с помощью пакета прикладных программ (StatSoft Statistica v6.0 Rus).

Результаты и обсуждения

Результаты сравнительного анализа параметров и режимов работы рубительных машин приведены в табл. 1 и 2, а также на рис. 1 и 2.

Таблица 1
Сравнительный анализ параметров конструкций рубительных машин

Table 1
Comparative analysis of chipper design parameters

Машина Machine	Количество ножей, шт Number of knives, pcs	Сечение загрузочного устройства, мм Loading device section, mm	Габаритные размеры (длина, ширина, высота), мм Overall dimensions (length, width, height), mm	Масса, кг Weight, kg
FARMИ 260 OEM F	3	260 x 320	не указано not indicated	1100
Urban EM 110	6	800 x 600	446x126x235	1048
ВРМх-350	3	100x100	800x600x700	140
РБ-700-ЛГ-22 RB-700-LG-22	4	153x137	1571x953x1214	505
ДРМ-3 DRM-3	4	153x137	1570x1232x1152	505
SKORPION 120E	2	285x165	1750x1300x2170	590
RM-165	2	165x165	1800x1750x2380	480
МРН-10 MRN-10	16	250x250	2650x1700x1760	4553
МРН-30 MRN-30	16	250x250	2650x1700x1760	4500

Окончание табл. 1
Continuation of table 1

MPГ-40 MRG-40	10	580x350	3610x2430x2145	12000
M1000H	8	360x360	3280x1390x3540	3200
Yulong T-Rex6550A	6	500x500	не указано not indicated	5430
MPГ-20H MRG-20N	12	не указано not indicated	2660x1630x1370	3380
Junkkari HJ 172	4	200x200	2200x1600x2400	585
Urban TR 70	6	700x400	1000x1790x1480	210
M200	4	635x635	3220x1670x2670	900
TP-130 Linddana	2	886x860	2362x1217x2136	516
Gandini 170 TPS	3	170x170	1850x1250x1500	550
GreenMech Arbtrak 200	4	200x280	3230x1410x2612	1600

Источник: открытые данные производителей оборудования [11, 12, 13, 14]

Source: open data from equipment manufacturers [11, 12, 13, 14]

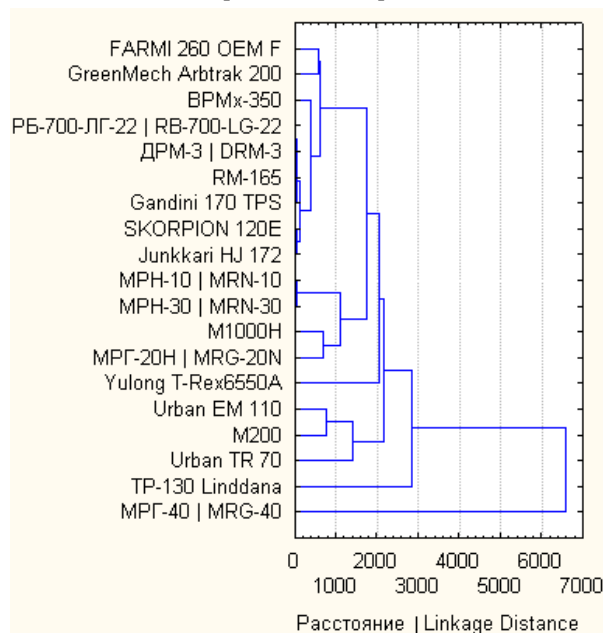


Рисунок 1. Иерархическая диаграмма сходства и различия рубильных машин по конструктивным параметрам

Figure 1. Hierarchical diagram of the similarities and differences of chippers by design parameters

Источник: Собственные вычисления авторов

Source: Authors' own calculations

Таблица 2
Сравнительный анализ режимов работы рубильных машин

Table 2
Comparative analysis of operating modes of chipping machines

Машина Machine	Установленная мощность, кВт Installed power, kW	Производительность (по щепе), м ³ /ч Productivity (for chips), m ³ / h	Скорость вращения диска, мин ⁻¹ Disk rotation speed, min ⁻¹
FARMI 260 OEM F	55	10-40	540 / 1000
Urban EM 110	18,5	10	160
BPMx-350	5,5	2	1000-1500
РБ-700-ЛГ-22 RB-700-LG-22	22	2,5	1500
ДРМ-3 DRM-3	22	3	1500
SKORPION 120E	22	12	1500
RM-165	15	3-10	1000
MPH-10 MRN-10	55	10	590
MPH-30 MRN-30	90	30	740
MPГ-40 MRG-40	160	40	585
M1000H	55	9	1500
Yulong T-Rex6550A	75	15-25	не указано not indicated
MPГ-20H MRG-20N	90	20	740
Junkkari HJ 172	30	30	540-1000
Urban TR 70	37	4	540
M200	26	не указано not indicated	1500
TP-130 Linddana	18-45	10	1000
Gandini 170 TPS	25-50	12	540
GreenMech Arbtrak 200	33	21,7	не указано not indicated

Источник: открытые данные производителей оборудования

Source: open data from equipment manufacturers

Диаграмму (рис. 1) можно разделить на шесть кластеров. В первый кластер входят девять рубильных машин (FARMI 260 OEM F, GreenMech Arbtrak 200, BPMx-350, РБ-700-ЛГ-22, ДРМ-3, RM-

165, Gandini 170 TPS, SKORPION 120E, Junkkari HJ 172), во второй кластер – четыре машины (MPH-10, MPH-30, M1000H, MPG-20H), в третий – одна (Yulong T-Rex6550A), в четвертый – три (Urban EM 110, M200, Urban TR 70), в пятый – одна (TP-130 Linddana), в шестой – одна (MPG-40). В первый кластер вошли машины, которые имеют все низкие показатели. Во второй кластер включены машины, которые имеют большое число режущих ножей и большую массу при средних значениях грузозачного устройства. Машина, входящая в третий кластер, имеет большое грузозачное устройство и вес и среднее количество ножей. В четвертом кластере собраны машины с большим грузозачным устройством, и средними показателями количества ножей и массы. В пятом машина с большим грузозачным устройством, и низкими показателями количества ножей и массы. В шестом – все показатели имеют высокие значения.

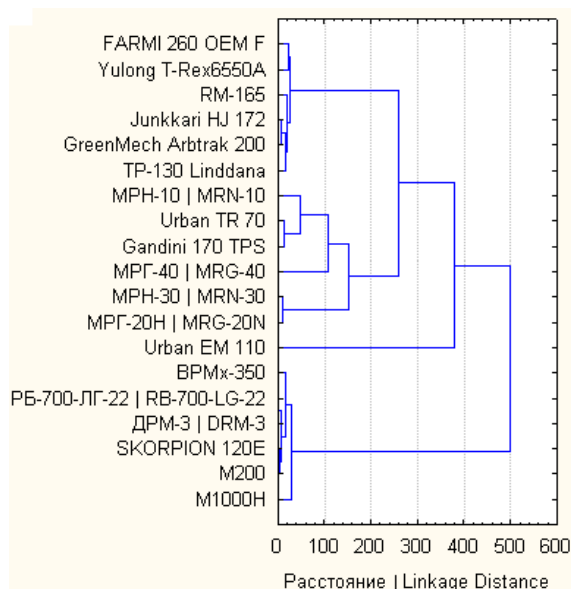


Рисунок 2. Иерархическая диаграмма сходства и различия рубильных машин по режимам работы
Figure 2. Hierarchical diagram of the similarities and differences of chippers by operating mode

Источник: Собственные вычисления авторов
Source: Authors' own calculations

Анализируя диаграмму (рис. 2), можно сказать, что она разделена на четыре кластера. В первый кластер входят шесть рубильных машин (FARMИ 260 OEM F, Yulong T-Rex6550A, RM-165, Junkkari HJ 172, GreenMech Arbtrak 200, TP-130 Linddana), во второй кластер – тоже шесть машин

(MPH-10, Urban TR 70, Gandini 170 TPS, MPG-40, MPH-30, MPG-20H), в третий – одна машина (Urban EM 110), в четвертый – шесть машин (BPMx-350, РБ-700-ЛГ-22, ДРМ-3, SKORPION 120E, M200, M1000H). В первый кластер вошли машины, которые имеют все средние показатели. Во второй кластер включены машины, которые имеют высокую мощность, среднюю производительность и низкую скорость вращения диска. Машина, входящая в третий кластер, имеет все низкие показатели. В четвертом кластере собраны машины, с высокой скоростью вращения диска и низкими показателями мощности и производительности.

Маломожевые рубильные машины

Для маломожевых рубильных машин (FARMИ 260 OEM F, Urban EM 110, BPMx-350, РБ-700-ЛГ-22, ДРМ-3, SKORPION 120E, RM-165) характерно прерывистое резание древесины через определенные промежутки времени. В эти отрезки времени могут происходить повороты и «подпрыгивание» древесины, что отрицательно сказывается на равномерности щепы. Кроме того, прерывистость резания уменьшает производительность маломожевых машин по сравнению с многоножевыми машинами. Общий вид рубильной машины Urban EM 110 показан на рис. 3.



Рисунок 3. Стационарная рубильная машина Urban EM 110 с приводом от электродвигателя
Figure 3. Stationary chipper Urban EM 110 with electric motor drive

Источник: Сайт Rusobalt.ru [11]
Source: website Rusobalt.ru [11]

Скорость вращения диска у машин разных типов и фирм составляет 150-720 мин⁻¹. На лицевой стороне диска в специальных пазах установлены режущие ножи. Обычно ножи смещены от радиального положения на угол 10-15° в сторону вращения. Заточка ножей производится на одну или две фаски с углами 33-44° у одной фаски и углом 19-28° у другой.

Вдоль кромок режущих ножей, в теле диска, имеются сквозные прорезы, служащие для прохода щепы после ее отруба. Противоположная от ножа сторона прореза с лицевой стороны диска защищена съемной планкой. У большинства типов машин на ободу диска установлены шесть-восемь лопаток, служащих для разбивания и удаления щепы [1, 3].

При нормальной загрузке и острых ножах малоножевые рубительные машины имеют удельный расход энергии равный 1,9-2,5 кВт ч м⁻³. Мощность холостого хода этих машин составляет 10-14 кВт. По мере затупления ножей процент мелочи в щепе возрастает с 2,5-3 до 6-7,5 % и более.

При малой скорости четырехножевой машины ($n = 168 \text{ мин}^{-1}$) работа маховых масс почти не используется. Вследствие этого необходимо стремиться к увеличению скорости вращения диска.

При повышении скорости вращения свыше 350-400 мин⁻¹ вентиляционные потери энергии от лопастей резко растут. С точки зрения экономии энергии в этом случае выгоднее применять нижний выброс щепы. Применение скорости вращения диска до 600-1000 мин⁻¹ позволит резко сократить вес машины и мощность двигателя.

Паузы между резами снижают производительность малоножевых дисковых машин, что невыгодно с точки зрения технико-экономических показателей. Расход металла на изготовление малоножевых машин и занимаемая ими площадь велика по сравнению с многоножевыми. Недостаточное использование кинетической энергии диска требует завышенной мощности двигателя. Все это явилось причиной замены маловожевых дисковых машин более совершенными типами машин.

Многоножевые рубительные машины

Многоножевые машины (МРН-10, МРН-30, МРГ-40, М1000Н, Yulong T-Rex6550A (рис. 4) имеют от 8 до 16 ножей. Число ножей в каждом отдельном случае определяется диаметром стволов, для рубки которых предназначается данная машина.

С целью увеличения махового момента у ряда марок машин имеется маховик, который крепят на валу аналогично диску, одновременно маховик является и тормозным шкивом.



Рисунок 4. Рубильная машина Yulong T-Rex6550A

Figure 4. Yulong T-Rex6550A chipper

Источник: Сайт Made-in-China.com [12]

Source: website Made-in-China.com [12]

Наиболее распространены рубительные машины с углами наклона патрона во всех трех плоскостях. Угол наклона патрона относительно горизонтали составляет 45-52°, что обеспечивает самоподачу баланса к диску машины под действием силы тяжести, так как тангенс угла наклона всегда больше коэффициента трения баланса о стенки патрона. Поворот патрона относительно нормали к диску, особенно при прямоугольной или овальной его форме, обеспечивает скатывание балансов малого диаметра по дну патрона в направлении центра вала. Вследствие этого уменьшается радиус, на котором приложено усилие резания, и уменьшается момент сопротивления, что благоприятно сказывается на энергетическом балансе системы. Кроме того, при скатывании баланса малого диаметра к центру вращения диска дольше сохраняются условия непрерывного реза двумя ножами [2, 6, 10].

Многоножевая машина имеет преимущества с точки зрения более рационального энергетического баланса. Так у четырехножевой машины работа маховых колес составляет 2-10% суммарной работы рубки, а у десятиножевой рубительной машины составляет - 59-83%, что позволяет при равной производительности уменьшить установленную мощность двигателя. Основное преимущество многоножевой рубительной машины по сравнению с малоножевой выявляется при анализе качества щепы. Непрерывность резания резко повышает производительность машины, что благоприятно сказывается на ее основных технико-экономических показателях: расход металла и занимаемая площадь.

Лучшее использование кинетической энергии маховых масс благоприятно сказывается на конст-

рукции привода; мощность двигателя при этом несколько уменьшается. Более высокие скорости вращения диска (по сравнению с малоножевыми машинами) позволяют производить сооную установку двигателя и машины, что уменьшает габарит и вес установки.

Наряду с преимуществами, дисковые многоножевые рубительные машины имеют и недостатки. К числу таких недостатков следует отнести несоответствие поверхности рубительного диска закону перемещения древесины, затягиваемой ножами. Плоская поверхность диска не обеспечивает необходимого соответствия между скоростью древесины и положением конца бревна. В момент резания создается давление, которое изменяет форму отруба, так как рез не проходит по естественной винтовой плоскости. Наличие давления подачи приводит к значительному износу поверхности диска. Другим недостатком многоножевых рубительных машин является форма питающего патрона, имеющего большой угол наклона к горизонтальной плоскости (45-52°). Этот недостаток объясняется подачей древесины к диску под действием силы тяжести.

Геликоидальные рубительные машины

В основном элементы конструкции у таких машин те же, что и у других типов дисковых многоножевых рубительных машин. Поэтому следует остановиться лишь на тех особенностях, которые отличают эти машины от других многоножевых машин, т.е. на форме заточки ножей и конструкции диска.

В геликоидальных рубительных машинах (МРН 10, МРГ-20Н, МРГ-40 (рис. 5)) диск имеет винтовую поверхность между ножами, которая является продолжением задних кромок ножей.

При подаче древесины через патрон вначале под действием собственной тяжести, а затем вслед-



Рисунок 5. Рубильная машина МРГ-40

Figure 5. Chipping machine MRG-40

Источник: Сайт ПРОСТАНКИ [13]

Source: website PROSTANKI [13]

ствии затягивающего воздействия ножей при непрерывном резании имеет место сложное движение ножа относительно древесины. При этом кромка ножа вращается в плоскости, параллельной диску, а бревно перемещается к диску при различных углах затягивания.

В машинах с плоским ножевым диском в момент резания усилие, возникающее между щепой и ножом, уравнивается реакцией диска на соприкасающуюся с ней поверхностью бревна. В таких машинах при работе создаются огромные удельные давления. Это влечет за собой снижение качества щепы, вследствие смятия торцевой поверхности, а также - к созданию условия для продольного смещения древесины вследствие деформации, контактирующей с диском поверхности бревна. При этом форма отруба изменяется, так как ножи двигаются не по винтовой линии вследствие ее искажения за счет дополнительного продвижения бревна.

Геликоидальные рубительные машины таких недостатков лишены.

Для получения качественной щепы с равномерной длиной частиц и чистым отрубом большую роль играют величины зазоров между режущими ножами и контрножами, правильная заточка и установка ножей, а также их острота [4, 5].

Принципиальная схема резания древесины в данном типе дисковой рубительной машины предполагает сопряжение заточных фасок режущих ножей с геликоидальной поверхностью прижимных секторов диска. В связи с этим режущий нож должен иметь временный угол заточки по своей длине, изменяющийся от 34° до 30°. При указанной заточке режущих ножей поверхность среза древесины в процессе отруба соприкасается с геликоидальной поверхностью заточной фаски ножей и прижимных секторов.

При эксплуатации этих машин необходимо тщательно следить за правильностью заточки режущих ножей. Заточка их под одним углом по всей длине режущего ножа нарушает заложенный в машине принцип резания и приводит к ухудшению качества щепы и некоторому увеличению расхода энергии. Геликоидальная поверхность диска и соответствующая заточка ножей создают благоприятные условия для повышения качества щепы.

Дисковая многоножевая рубительная машина с

геликоидальными ножами имеет те же преимущества и недостатки, что и обычные дисковые многоножевые рубительные машины. Отличие этой машины от обычных дисковых многоножевых машин заключается лишь в конструкции диска и заточке ножей. Следует отметить, что указанные преимущества геликоидальной поверхности могут быть использованы только для одной расчетной длины щепы. При изменении длины щепы эти машины будут работать, как и обычные многоножевые рубительные машины. Во избежание этого необходимо менять геликоидальные сектора, что является недостатком данного типа машин. К другим недостаткам следует отнести недостатки конструкции машин с геликоидальной поверхностью, заключающиеся в довольно сложной обработке диска.

Рубительные машины с горизонтальной подачей древесины

Дисковые многоножевые рубительные машины с горизонтальной подачей древесины (МРГ-20Н, МРГ-40, FARMИ 260 OEM F) отличаются от ранее рассматриваемых дисковых многоножевых рубительных машин горизонтальным расположением питающего патрона, несколько уменьшенным числом ножей и большей скоростью вращения диска. Упрощенная конструкция питающего патрона позволяет уменьшить расход металла и способствовать снижению веса всей установки.

Угол заточки ножей зависит от породы и чистоты подаваемой древесины. Если древесина грязная или в песке, следует работать с ножами, заточенными на менее острый угол [7, 8, 14].

Для машин крупных типоразмеров ножи состоят из отдельных частей по длине. Таким образом, при повреждении режущей кромки нет необходимости перетачивать весь нож. Экономия от внедрения таких ножей составляет около 30% их стоимости. Горизонтальная подача древесины исключает возможность динамических нагрузок (ударов) на диск при падении бревен по желобу, имевших место у обычных многоножевых машин с наклонным питающим патроном. Это одно из преимуществ машин этого типа. К отличительным признакам следует отнести повышение скорости вращения диска, а также уменьшение числа ножей на диске.

Недостатком рубительных машин с горизон-

тальной подачей древесного материала является необходимость синхронизировать скорость затягивания бревен рубительными ножами со скоростью подающего транспортера. В том случае, если скорость подачи древесины транспортером окажется недостаточной, то это отразится на размере щепы по длине. Иными словами, качество щепы при этом ухудшится. Обычно скорость транспортера принимается выше скорости затягивания щепы ножами на 5-20%. При этом бревно, упираясь торцом в диск, начинает буксовать по транспортеру, что приводит к износу ленты или цепей.

Передвижные рубительные машины

Для измельчения в щепу отходов лесозаготовок в последнее время очень часто применяются передвижные рубительные машины (Junkkari HJ 172 (рис. 6), Urban TR 70, M200, TP-130 Linddana, Gandini 170 TPS, GreenMech Arbtrak 200). Передвижные рубительные машины позволяют измельчать древесные отходы непосредственно возле деревоперерабатывающих станков, выполняя в то же время уборку цеха.



Рисунок 6. Junkkari HJ 172 Измельчитель древесины от трактора с гидравлической подачей

Figure 6. Junkkari HJ 172 Tractor powered wood chipper with hydraulic feed

Источник: Сайт Rusobalt.ru [11]

Source: website Rusobalt.ru [11]

При окоренных отходах лесопиления и деревопереработки щепы, получаемая на дисковых передвижных машинах, имеет хорошие качественные показатели. Эта щепы лишь немного уступает щепе, приготовленной на стационарных рубительных машинах, и может быть применена в целлюлозно-бумажном производстве при изготовлении древесноволокнистых плит. Она также может быть использована на топливо [7, 9].

На предприятиях такие машины используют как утилизаторы по переработке накопленных на территории куч древесины или древесных отходов.

Передвижные рубительные машины имеют малое число режущих ножей и в большинстве своем небольшой вес. Для их привода требуется двигатель небольшой мощности. Они обеспечивают сравнительно высокую производительность.

Эти рубительные машины нашли применения во всем мире. В России применяются передвижные рубительные машины дискового и барабанного типов. Следует отметить, что в целлюлозно-бумажном производстве могут найти применение лишь дисковые передвижные рубительные машины. В лесной промышленности могут быть использованы также и барабанные машины. Использование для привода этих машин тракторных и дизельных двигателей позволяет при отсутствии силовой электросети измельчать древесину в лесных условиях.

Спиральные рубительные машины

Ножи в таких машинах расположены на двух конических дисках по спирали. Процесс резания древесины осуществляется в продольно-поперечном направлении, каковое в чистом виде осуществляется в барабанных рубительных машинах с цепной подачей балансов. Данные машины могут также измельчать горбыли и рейки.

Спиральные рубительные машины целесообразно применять на лесопильных заводах, так как там перерабатываются наиболее прямолинейные бревна, на измельчение которых и рассчитаны эти машины. При рубке искривленных бревен расчетные режимы работы будут нарушены, бревно будет поворачиваться (без принудительной подачи) и

качество щепы снизится. Далее следует отметить, что допускаемое лишь поштучное измельчение бревен, в том числе и тонких, может привести к снижению производительности этих машин.

Выводы

Промышленные малоножевые рубительные машины вследствие прерывистого резания древесины не нашли широкого применения

Многоножевые рубительные машины с геликоидальной поверхностью ножей и диска показали наилучшие результаты при измельчении древесины различных пород по удельному расходу энергии, фракционному составу щепы и производительности.

Отходы лесопиления и переработки целесообразно измельчать на многоножевых геликоидальных рубительных машинах. При необходимости измельчения длинных реек и горбылей целесообразно пристроить к этой машине приспособление для горизонтальной подачи реек и механизм прижима.

Для работы на вырубках и деревообрабатывающей промышленности следует рекомендовать малогабаритные передвижные рубительные машины.

В конструкциях многоножевых рубительных машин намечается тенденция к снижению числа режущих ножей с одновременным увеличением скорости вращения ножевого диска.

С увеличением скорости резания улучшается чистота среза, а также увеличивается скорость подачи древесины в питающем патроне, что способствует получению более качественной технологической щепы. Даже при отсутствии непрерывности резания увеличение скорости подачи древесины способствует более правильному ориентированию бревна при движении его в патроне.

Список литературы

1. Фокин С. В., Фомина О. А. К вопросу производства энергетической древесины дисковыми рубительными машинами с различными способами выброса щепы. Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2020. Т. 24. № 2. С. 68-73. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-68-73.
2. Spinelli R., Marchi E. Trends and perspectives in the design of mobile wood chippers. Croatian Journal of Forest Engineering. 2021. Vol. 42. Issue 1, pp. 25-38. DOI: 10.5552/crojfe.2021.787.
3. Laitila J., Prinz R., Sikanen L. Selection of a chipper technology for small-scale operations – a Finnish case. Journal of Forest Science. 2019. Vol. 65. Issue 4, pp. 121-133. DOI: 10.17221/26/2019-JFS.
4. Девятникова Л. А., Доспехова Н. А., Раковская М. И. Комплексный анализ операций переработки круглых лесоматериалов в технологическую щепу на целлюлозно-бумажном комбинате. Resources and Technology. 2017. Т. 14. № 1. С. 45-83. DOI: 10.15393/j2.art.2017.3781.

5. Fokin S., Eskov D., Medvedeva P., Shportko O., Fomina O. On technical means of obtaining wood chips, as a way to increase soil fertility. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 723. Issue 4. 042025. DOI: 10.1088/1755-1315/723/4/042025.
6. Reczulski M. Optimization of cutting speed and clearance angle in the disc chipper. Wood Research. 2021. Vol. 65. Issue 6, pp. 951-962. DOI: 10.37763/WR.1336-4561/65.6.951962.
7. Патент № 194214 Российская Федерация, МПК В02С 18/14 В27L 11/00. Рубительная машина для переработки древесных отходов : № 2019134501 : заявл. 28.10.2019 ; опубл. 03.12.2019 / К. Г. Кашкаров ; заявитель и патентообладатель К. Г. Кашкаров. – 8 с.
8. Pari, L. Influence of chipping system on chipper performance and wood chip particle size obtained from peach prunings / L. Pari, A. Suardi, Del Giudice [et al] // Biomass and Bioenergy. – 2018. – Vol. 112. – pp. 121-127. – DOI: 10.1016/j.biombioe.2018.01.002
9. Патент № 195168 Российская Федерация, МПК В27L 11/00. Устройство для измельчения порубочных остатков : № 2019121482 : заявл. 09.07.2019 ; опубл. 16.01.2020 / С. В. Фокин, О. А. Фомина ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО " СГАУ имени Вавилова". – 6 с.
10. Civitarese, V. Production of selected short-rotation wood crop species and quality of obtained biomass / V. Civitarese, S. Faugno, R. Picchio [et al] // European Journal of Forest Research. – 2018. – Vol. 137. – Issue 4. – pp. 541-552. – DOI: 10.1007/s10342-018-1122-3
11. Rusobalt.ru. Рубительные машины. – URL: <http://rusobalt.ru/> (дата обращения: 04.10.2021).
12. Made-in-China.com. Каталог продуктов. – URL: https://ru.made-in-china.com/co_zhongguoyulong/product_Yulong-T-Rex6550A-Wood-Shredder_rrsnuruig.html (дата обращения: 04.10.2021).
13. ПРОСТАНКИ. – URL: <https://www.prostanki.com/board/item/53647> (дата обращения: 04.10.2021).
14. Ortz.ru. Измельчители веток. – URL: <https://ortz.ru/> (дата обращения: 04.10.2021).

References

1. Fokin S.V., Fomina O.A. *K voprosu proizvodstva jenergeticheskoy drevesiny diskovymi rubitel'nyimi mashinami s razlichnymi sposobami vybroza shhepy* [On the issue of energy wood production by disk chippers with various chip ejection methods]. Forestry Bulletin. 2020, Vol. 24, no. 2, pp. 68-73. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-68-73 (In Russian).
2. Spinelli R., Marchi E. Trends and perspectives in the design of mobile wood chippers. Croatian Journal of Forest Engineering, 2021, Vol. 42, Issue 1, pp. 25-38. DOI: 10.5552/crojfe.2021.787
3. Laitila J., Prinz R., Sikanen L. Selection of a chipper technology for small-scale operations – a Finnish case. Journal of Forest Science, 2019, Vol. 65, Issue 4, pp. 121-133. DOI: 10.17221/26/2019-JFS
4. Devyatnikova L.A., Dospekhova N.A., Rakovskaya M.I. *Kompleksnyj analiz operacij pererabotki kruglyh lesomaterialov v tehnologi-cheskuju shhepu na celljulozno-bumazhnom kombinat* [Complex analysis of operations for processing round timber into technological chips at a pulp and paper mill] Resources and Technology. 2017, Vol. 14, no. 1, pp. 45-83. DOI: 10.15393 / j2.art.2017.3781. (In Russian).
5. Fokin S., Eskov D., Medvedeva, Shportko O., Fomina O. On technical means of obtaining wood chips, as a way to increase soil fertility. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, Vol. 723, Issue 4, 042025. DOI: 10.1088/1755-1315/723/4/042025.
6. Reczulski M. Optimization of cutting speed and clearance angle in the disc chipper. Wood Research, 2021, Vol. 65, Issue 6, pp. 951-962. DOI: 10.37763/WR.1336-4561/65.6.951962.
7. Safin R.R., Grigoriev I.V., Grigorieva O.I., Razumov E.Yu. *Tehnologija i mashiny lesovosstanovitel'nyh robot* [Technology and machines of reforestation work]. Moscow, 2015, 230 p. (In Russian).

8. Pari L., Suardi A., Del Giudice [et al] Influence of chipping system on chipper performance and wood chip particle size obtained from peach prunings. *Biomass and Bioenergy*, 2018, Vol. 112, pp. 121-127. DOI: 10.1016/j.biombioe.2018.01.002.

9. Lyubov V.K., Lyubova S.V. *Povyshenie jeffektivnosti jenergeticheskogo ispol'zovanija biotopliv* [Increasing the efficiency of energy use of biofuels]. Arkhangelsk, 2017, 533 p. (In Russian).

10. Civitarese, V., Faugno, S., Picchio, R. [et al] Production of selected short-rotation wood crop species and quality of obtained biomass. *European Journal of Forest Research*, 2018, Vol. 137, Issue 4, pp. 541-552. DOI: 10.1007/s10342-018-1122-3.

11. Rusobalt.ru. *Rubitel'nye mashiny* [Chipping machines]. URL: <http://rusobalt.ru/> (date of access: 10.04.2021). (In Russian).

12. *Katalog produktov* [Made-in-China.com. Product catalog]. URL: https://ru.made-in-china.com/co_zhongguoyulong/product_Yulong-T-Rex6550A-Wood-Shredder_rrsnuruig.html (date accessed: 10.04.2021). (In Russian).

13. PROSTANKI. URL: <https://www.prostanki.com/board/item/53647> (date of access: 10/04/2021) (In Russian).

14. Ortz.ru. *Izmel'chiteli vetok* [Branch shredders]. URL: <https://ortz.ru/> (date of access: 10/04/2021). (In Russian).

Сведения об авторах

Малюков Сергей Владимирович ✉ – кандидат технических наук, доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2098-154X>, e-mail: malyukovsergey@yandex.ru.

Аксенов Алексей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: orcid.org/0000-0002-9710-1013, e-mail: aaa-aksenov@mail.ru.

Малюкова Маргарита Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: orcid.org/0000-0001-8174-0358, e-mail: lrita@bk.ru.

Information about the authors

Sergey V. Malyukov ✉ – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Department of Forestry Mechanization and Machine Design, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev st., 8, Voronezh, Russian Federation; 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2098-154X>, e-mail: malyukovsergey@yandex.ru

Alexey A. Aksenov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Production, Repair and Maintenance of Machinery Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev st., 8, Voronezh, Russian Federation; 394087, ORCID: orcid.org/0000-0002-9710-1013, e-mail: aaa-aksenov@mail.ru.

Margarita A. Malyukova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Production, Repair and Maintenance of Machinery Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev st., 8, Voronezh, Russian Federation; 394087, ORCID: orcid.org/0000-0001-8174-0358, e-mail: lrita@bk.ru.

✉ Для контактов / Corresponding author