

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОВЕРКИ РУБИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА РБ-55

С.Ю. Булатов^{1✉}, В.Н. Нечаев¹, А.Г. Сергеев²

¹ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет» (НГИЭУ), Россия, 606340, Нижегородская обл., г. Княгинино, ул. Октябрьская, д. 22а

²ООО «Доза-Агро», Россия, 603124, г. Нижний Новгород, ул. ш. Жиркомбината, д. 20

bulatov_sergey_urevich@mail.ru

Представлено подробное описание конструкции и принципа работы рубительного комплекса РБ-55, разработанного нижегородской фирмой и предназначенного для измельчения древесных материалов. Получены прогнозные зависимости в виде полиномы третьей степени для расчета потребляемой мощности измельчения, спрогнозирована максимальная пропускная способность рубительного комплекса при измельчении горбыля сосны влажностью 23...30 % — 9 м³/ч. Установлены максимальная пропускная способность комплекса РБ-55 при измельчении круглого лесоматериала (ель) влажностью 47,8 % — 23 м³/ч, и суммарная потребляемая мощность электродвигателей — 68,23 кВт. Установлено, что получаемая щепа соответствует марке ПС, предназначенной для изготовления древесно-стружечных плит.

Ключевые слова: измельчение, качество измельчения, пропускная способность, рубительный комплекс, энергозатраты

Ссылка для цитирования: Булатов С.Ю., Нечаев В.Н., Сергеев А.Г. Результаты производственной проверки рубительного комплекса РБ-55 // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 3. С. 57–68.

DOI: 10.18698/2542-1468-2023-3-57-68

В задачи развития лесопромышленного комплекса входит увеличение переработки низкосортной древесины [1]. Целевыми показателями использования мелкотоварной и неликвидной древесины, биомассы лесосек [2–4] и отходов деревообрабатывающих предприятий являются увеличение производства щепы, соответствующей принятым стандартам [5, 6], для выпуска древесно-стружечных и древесно-волоконистых плит, потребность в которых составляет 8,66 млн м³ [7]. При этом ежегодное количество древесных отходов достигает 200 млн м³. Согласно прогнозам, к 2030 г. рециклинг отходов позволит экономить 40 млн м³ древесины [8]. Помимо компонентов для строительных материалов, имеющих в массе отходов, энергопотенциал служит отличным источником производства биотоплива, а древесные отходы могут использоваться для нужд сельского хозяйства, кожевенной промышленности, фармакологии и т. д. [9–11].

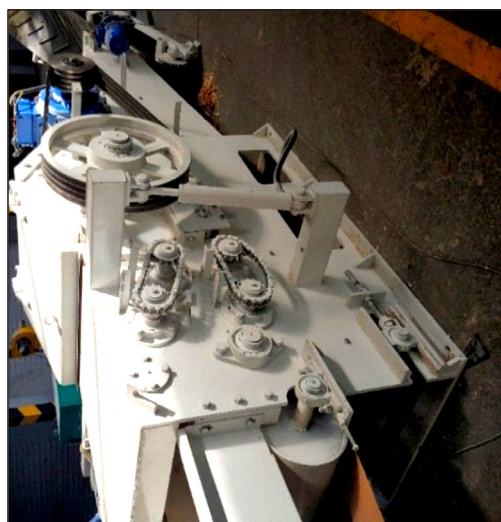
Качество продуктов переработки древесных отходов напрямую зависит от технико-технологической вооруженности предприятий лесопромышленного комплекса. В частности, импортное оборудование дороже отечественного в 2–3 раза, за исключением китайского. Однако в России имеются все ресурсы для создания техники высокого уровня [12]. В «Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года» [13]

отмечено, что научные исследования в области разработки и производства отечественной техники, не уступающей импортным аналогам, является актуальной задачей.

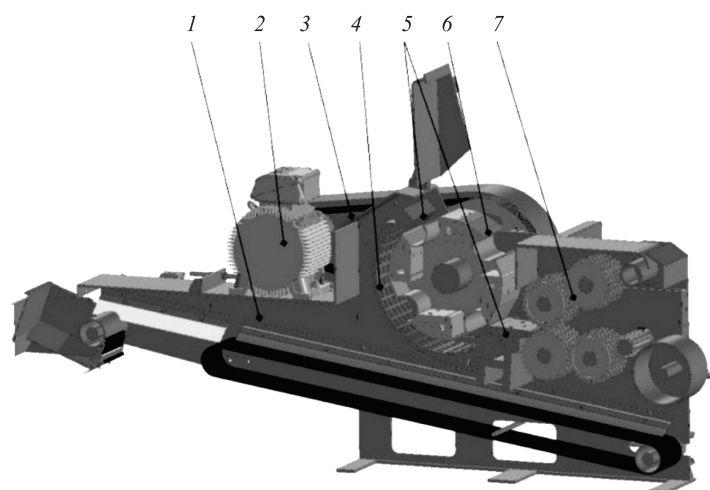
Ключевым звеном в технологической цепочке при переработке древесных отходов являются рубительные машины, требующие научного обоснования параметров и режимов их работы. Как известно, они бывают мобильные [14–16] и стационарные [17], дисковые [18] и барабанные [19–22]. Многие рационализаторские решения по устройству и работе рубительных машин принадлежат следующим российским исследователям: Н.Ф. Баранову [23, 24], А.Я. Волкову [25], В.В. Коробову и Н.П. Рушнову [26], Г.М. Трещикову и Ю.А. Люкину [27] и др. В результатах сравнительных испытаний зарубежных исследователей отмечается, что рубительные машины с дисковым рабочим органом имеют более простую конструкцию, их энергоэффективность на 19 % выше, чем у машин с барабанным измельчителем [19, 20]. Однако производительность последних выше на 8 %, резание происходит равномерно по всей длине ножа, в фракционном составе больше мелкой стружки. В том и другом случае качество щепы, производительность и энергоэффективность измельчителей зависят от типа сырья. По нашему мнению, только в производственных испытаниях можно определить работоспособность машин, провести исследования на разных настроечных параметрах и дать рекомендации по их дальнейшему совершенствованию.



Рис. 1. Общий вид рубительного комплекса РБ-55
Fig. 1. General view of the RB-55 chopping complex



a



б

Рис. 2. Рубительная машина: *a* — общий вид; *б* — 3D модель: 1 — корпус; 2 — электродвигатель; 3 — ременная передача; 4 — сито; 5 — контрножи; 6 — рубительный барабан; 7 — подающий механизм

Fig. 2. Chopping machine: *a* — general view; *б* — 3D model: 1 — housing; 2 — electric motor; 3 — belt drive; 4 — sieve; 5 — counter knives; 6 — chopping drum; 7 — feeding mechanism

ООО «Доза-Агро» разработан комплекс для измельчения древесных материалов, который требует проведения оценки его работоспособности.

Цель работы

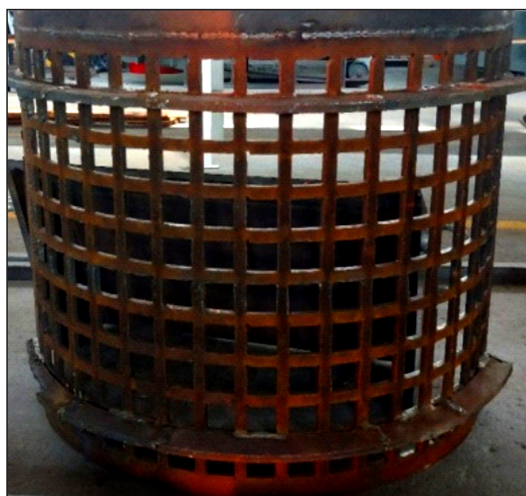
Цель работы — определение рабочих параметров рубительного комплекса РБ-55.

Материалы и методы

Объектом исследования выступал рубительный комплекс РБ-55 — 4К (рис. 1). В его состав входит рубительная машина, механизм подающий материал к рубительной машине, собирающий и выгрузной конвейеры. Последний предназначен для транспортирования измельченного продукта в накопительную емкость. Суммарная установленная мощность электродвигателей комплекса

составляет 67,6 кВт, из них 4,5 кВт приходится на электропривод конвейеров.

Главными элементами рубительной машины (рис. 2) являются установленные в корпусе 1 рубительный барабан 5 с четырьмя ножами, сито 4, подающий механизм 7. Вращение рубительного барабана 6 осуществляется от электродвигателя 2 через ременную передачу 3. Подающий механизм 7 затягивает поступающие с подающего конвейера материалы и подает их к рубительному барабану 6. Материал зажимается между ножами рубительного барабана 6 и контрножами 5, где происходит его перерубание. Перерезанные куски материала вращаются вместе с ножами рубительного барабана 6 и многократно подвергаются измельчению, пока их размеры не окажутся меньше размеров отверстий сита 4 и не



а



б

Рис. 3. Сита рубительной машины: а — 40×40; б — 70×70

Fig. 3. The screens of the chopping machine: а — 40×40; б — 70×70

выведутся из зоны измельчения. Измельченный материал в дальнейшем от рубительной машины отводится собирающим конвейером.

Заводом-изготовителем предусмотрены сита с квадратными отверстиями. При проведении оценки рабочих параметров устанавливались решета с отверстиями 40×40 мм и 70×70 мм (рис. 3). Коэффициент живого сечения решет вычисляли по формуле

$$k = \frac{S_o}{S_p} = \frac{a_o \cdot b_o \cdot N_o}{a_p \cdot b_p},$$

где S_o — площадь отверстий решета, мм²;

S_p — площадь решета, мм²;

a_o, b_o — соответственно длина и ширина отверстий решета, мм;

N_o — количество отверстий, шт.;

a_p, b_p — соответственно длина и ширина решета, мм.

Для решет с отверстиями 40×40 мм и 70×70 мм коэффициент живого сечения составил соответственно

$$k_{40} = \frac{40 \cdot 40 \cdot 216}{1056 \cdot 685} = 0,48;$$

$$k_{70} = \frac{70 \cdot 70 \cdot 77}{1056 \cdot 685} = 0,52.$$

Опыты проводились при следующих установленных настроечных параметрах: диаметр рубильного барабана по концам ножей — 630 мм; частота вращения рубильного барабана — 500 мин⁻¹; зазор между кромкой ножей и кромкой контрожной — 2 мм.

В качестве измельчаемого материала использовался неокоренный горбыль хвойных пород (сосна) влажностью 23...30 % (рис. 4) и круглый лесоматериал (ель) (рис. 5), средней влажностью 47,8 %.

Габаритные размеры горбыля составляли: длина 2000 мм, ширина 150 мм, толщина 25...30 мм. В соответствии с методикой, описанной в ОСТ 13-28-74 рассчитан объем одного горбыля по максимальным размерам (2×0,15×0,025) — 0,0075 м³ и выбран поправочный коэффициент 0,48 [28]. Объем круглого лесоматериала определялся согласно ГОСТ 2708-75 [29].

Оценивалось влияние вида измельчаемого материала и способа его подачи на пропускную способность, энергозатраты и качество измельчения рубительного комплекса. Подачу измельчаемого материала осуществляли последовательно по одной доске (бревну) и параллельно по 2-3 доски (2 бревна) (см. рис. 5) в рубительную машину, изменяя скорость ленты подающего конвейера от минимальной. При этом при последовательной подаче скорость ленты составляла 0,082 м/с, а при параллельной — 0,11 и 0,16 м/с. В процессе измельчения проводился замер суммарной потребляемой мощности W (кВт) рубительного комплекса РБ-55 при различной скорости подачи материала, рассчитывались пропускная способность Q (м³/ч) рубительной машины и удельные энергозатраты $w_{уд}$ (кВт·ч/м³).

После каждого опыта проводился отбор пробы измельченного материала и оценивался его размер. Размер измельченного материала определяли посредством его отсева. Для этого был изготовлен набор сит с квадратными отверстиями размером 5×5, 10×10, 15×15, 20×20, 25×25 мм (рис. 6) в соответствии с ГОСТ 15815-83 [30].

При определении размеров щепы из проб выделялась навеска массой 100 г и отсеивалась на лабораторном отсеивателе (РЛ) в течение 5 мин. Далее проводилось взвешивание остатков на каждом

*a**б*

Рис. 4. Общий вид измельчаемого лесоматериала: *a* — горбыль; *б* — лесоматериалы круглые
Fig. 4. General view of the crushed timber: *a* — humpback; *б* — round timber

*a**б*

Рис. 5. Способ подачи измельчаемого материала: *a* — последовательная по одному бревну;
б — параллельная по два бревна

Fig. 5. The method of feeding the crushed material: *a* — sequential for one log; *б* — parallel for two logs

сите и построение графиков. Дополнительно из каждого остатка на сите выбирались наибольшие и наименьшие частицы и определялись их размеры с помощью штангенциркуля ШЦ-I-125-0.1 с погрешностью измерения $\pm 0,03$ мм.

Исследование рабочего процесса разработанного комплекса проводилось на заводе ООО «АСТ Регион» рп. Выездное Нижегородской обл.

Результаты и обсуждение

Результаты опытов представлены в виде графиков, характеризующих влияние пропускной способности рубительного комплекса на его энергетические показатели при измельчении горбыля и круглого лесоматериала. При измельчении горбыля с увеличением пропускной способности



Рис. 6. Набор сит с отверстиями размером (мм): *a* — на расसेве РЛ; *б* — 25×25; *в* — 20×20; *г* — 15×15; *д* — 10×10; *е* — 5×5

Fig. 6. A set of sieves with holes measuring (mm): *a* — on the RL sieving; *б* — 25×25; *в* — 20×20; *г* — 15×15; *д* — 10×10; *е* — 5×5

происходит рост потребляемой мощности W и при пропускной способности $Q = 6,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ мощность составляет около 38 кВт (рис. 7). При этом наблюдается резкое снижение удельных энергозатрат $w_{\text{уд}}$. В диапазоне $Q = 0,64 \dots 6,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ данный показатель снижается с 15,3 до 5,9 кВт·ч/м³.

Изменение суммарной потребляемой мощности поддается достаточно полному описанию двумя зависимостями (рис. 8):

– полиномом третьей степени

$$y = 0,335Q^3 - 4,5771Q^2 + 21,852Q - 2,4084, \quad R^2 = 1; \quad (1)$$

– логарифмической функцией

$$y = 12,353 \ln(Q) + 15,933, \quad R^2 = 0,9952. \quad (2)$$

Для описания изменения удельных энергозатрат также можно применить две функции (рис. 9):

– полином третьей степени

$$y = 0,081Q^3 - 0,7048Q^2 - 0,3685Q + 15,8; \quad R^2 = 1; \quad (3)$$

– экспоненциальную функцию

$$y = 17,251e^{-0,168Q}; \quad R^2 = 0,9909. \quad (4)$$

Коэффициенты детерминации в уравнениях третьей степени (1) и (3) составляют единицу, т. е. эти уравнения точнее описывают изучаемый процесс.

По уравнениям (1) и (3) можно спрогнозировать потребление электроэнергии исследуемой и аналогичных рубительных машин в зависимости от подачи измельчаемого материала.

По уравнениям построены прогнозные характеристики суммарной потребляемой мощности (см. рис. 8) и удельных энергозатрат (см. рис. 9).

На рис. 8 линиями 3, 4 отмечены номинальные мощности электродвигателей комплекса и рубительной машины. Из графиков видно, что при расчете энергетических показателей по полиному третьей степени максимальная нагрузка электродвигателей возможна при измельчении соснового горбыля влажностью 25...30 % с пропускной способностью 9 м³/ч (см. рис. 8). При этом расчетные удельные энергозатраты составляют 11,5 кВт·ч/м³ (см. рис. 9). При расчетах энергетических показателей рубительного комплекса по уравнениям (2) и (4) показатели пропускной способности получаются завышенными.

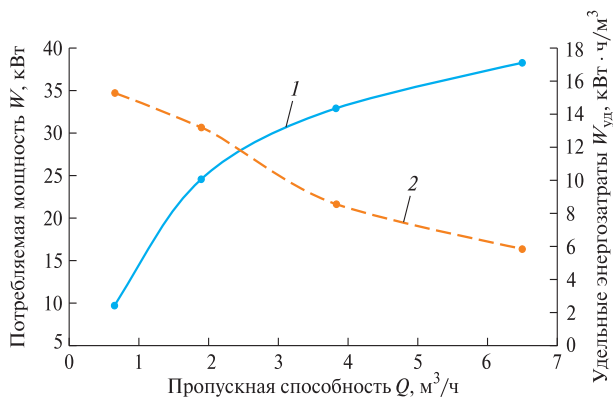


Рис. 7. Влияние пропускной способности рубительной машины на энергетические показатели: 1 — полная потребляемая мощность; 2 — удельные энергозатраты
Fig. 7. The impact of the capacity of the chopping machine on energy indicators: 1 — total power consumption; 2 — specific energy consumption

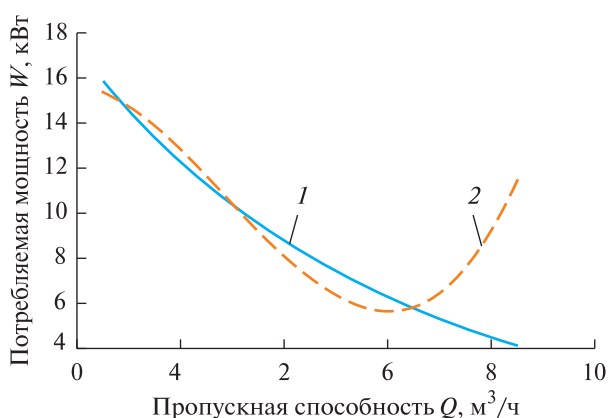


Рис. 9. Изменение расчетных удельных энергозатрат: 1 — экспоненциальная функция; 2 — полином третьей степени
Fig. 9. Variation of calculated specific energy consumption: 1 — exponential function; 2 — polynomial of the third degree

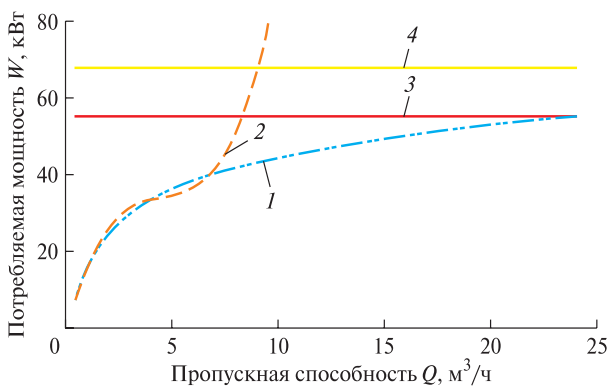


Рис. 8. Изменение расчетной полной потребляемой мощности: 1 — логарифмическая функция; 2 — полином третьей степени; 3 — установленная мощность электродвигателя рубительной машины; 4 — установленная суммарная мощность электродвигателей рубительного комплекса
Fig. 8. Variation of calculated total power consumption: 1 — logarithmic function; 2 — third-degree polynomial; 3 — installed chipper motor power; 4 — installed total power of chipper motors

Так, при достижении установленной мощности двигателя рубительной машины в 55 кВт пропускная способность составит 24 м³/ч. Из проведенного анализа можно сделать вывод, о том, что для описания изменения энергетических затрат в зависимости от пропускной способности рубительного комплекса РБ-55 лучше применять полиномы третьей степени (1) и (3).

При проведении опытов были отобраны пробы измельченного материала, общий вид которых приведен на рис. 10.

Из отобранных проб выбирались навески массой 100 г и проводился их рассев, результаты которого представлены в виде графиков (рис. 11).

Анализ графиков показывает, что наибольший остаток наблюдается на сите с отверстием 5×5 мм (см. рис. 11). Независимо от пропускной способности масса остатка на данном сите превышает 50 % всей навески. С увеличением пропускной способности крупность измельчения увеличивается.

Из остатков на ситах выбраны граничные куски измельченного материала и штангенциркулем определены их размеры (табл. 1). На сите 25×25 мм наблюдалось только по одному такому куску. На дне сита указаны размеры максимальных кусков, на всех остальных — размеры минимальных и максимальных кусков.

При измельчении горбыля не удалось достичь максимально возможной пропускной способности при полной загрузке установленной мощности электродвигателей, поэтому принято решение увеличить коэффициент живого сечения решета с 0,48 до 0,52 путем увеличения размеров отверстий с 40×40 мм до 70×70 мм. Для равномерной загрузки машины в качестве сырья использовались бревна ели.

Проведена серия опытов по определению максимальной пропускной способности. Входными параметрами в ходе опытов выступали: схема подачи материала, объем материала и скорость ленты (табл. 2). На выходе фиксировались время измельчения, потребляемая мощность, а также оценивалась пропускная способность.

По данным табл. 2 построены графики изменения фиксируемых показателей в зависимости от скорости движения ленты подающего конвейера рубительного комплекса (рис. 12, 13).

Как видно из графиков (см. рис. 12) с увеличением скорости подачи растет пропускная способность комплекса. Ее максимально зафиксиро-



Рис. 10. Образцы проб измельченного материала при пропускной способности рубительной машины (м³/ч): а — 0,64; б — 1,87; в — 3,82; г — 6,5

Fig. 10. Samples of crushed material samples at throughput (m³/h): a — 0,64; б — 1,87; в — 3,82; г — 6,5

ванное значение составило 23 м³/ч при скорости подачи 0,21 м/с бревна длиной 4 м. При этом и потребляемая мощность принимает максимальное значение 68,23 кВт. Основной электродвигатель работает в режиме перегрузки порядка 8 %. Однако по удельным энергозатратам наблюдается минимальное значение из всех проведенных опытов, которое составило 2,97 кВт·ч/м³ (см. рис. 13). Как видно из табл. 2 на пропускную способность также влияют способ подачи, длина и объем измельчаемого бревна. Более короткие и тонкие бревна затягиваются и измельчаются быстрее, поэтому пропускная скорость возрастает. Так, например, незначительное падение пропускной способности в опыте № 7 (см. табл. 2) примерно на 9,7 % объясняется увеличением объема бревна на 32 %. При параллельной подаче процесс нестабилен, так как наблюдается периодическое застревание одного из бревен, что влечет рост времени измельчения и, как следствие, снижение пропускной способности. Исходя из наблюдений,

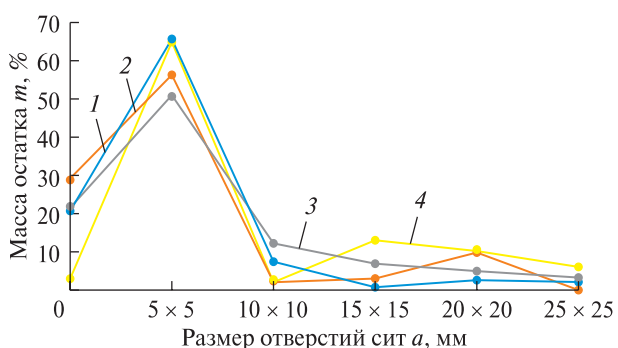


Рис. 11. Распределение измельченного материала по ситам при разной пропускной способности машины Q (м³/ч): 1 — 0,64; 2 — 1,87; 3 — 3,82; 4 — 6,5

Fig. 11. Distribution of crushed material by sieves Q (m³/h): 1 — 0,64; 2 — 1,87; 3 — 3,82; 4 — 6,5

при параллельной загрузке желательно, чтобы подаваемый материал имел одинаковую высоту, а для круглого материала, соответственно, одинаковый диаметр.

Т а б л и ц а 1

Размеры характерных кусков измельченного материала, выбранных по остаткам на ситах (для горбыля) при разной пропускной способности машины Q ($\text{м}^3/\text{ч}$)
Dimensions of characteristic pieces of crushed material selected from the residues on the sieves (for slabs) at different throughputs of the machine Q ($\text{м}^3/\text{ч}$)

Размер отверстий сита, мм	Размеры характерных кусков (длина×ширина×толщина), мм			
	$Q = 0,64$	$Q = 1,87$	$Q = 3,82$	$Q = 6,5$
25×25	40×30×10	–	80×15×15	47×30×17
20×20	80×12×8	40×25×4 75×22×10	50×29×10 90×16×2	33×17×5 94×19×3
15×15	23×18×3 32×20×2	25×22×2 90×8×1	25×22×7 50×18×2,5	19×15×4 64×18×5
10×10	20×18×3 130×15×6	23×18×4 42×14×5	18×15×3 150×12×4	16×15×4 50×17×6
5×5	100×9×2	70×7×4	110×5×2	82×18×2,5
Дно сита	43×4×1	57×2×1,5	70×3×3	62×3×2

Т а б л и ц а 2

Исходные параметры и результаты эксперимента при последовательной и параллельной* подачах бревен на загрузочный ленточный транспортер
Initial parameters and results of the experiment with sequential and parallel* feed of logs to the loading conveyor

Регистрируемый показатель	Номер опыта						
	1	2	3	4	5	6	7
Длина бревна, L , м	6	6	6	3	2	4	6
Количество бревен, шт.	1	1	1	2	2	1	1
Объем материала, V , м^3	0,194	0,174	0,255	0,184	0,1	0,147	0,194
Скорость ленты, v , м/с	0,082	0,11	0,11	0,11	0,16	0,21	0,21
Время измельчения, t , с	60	57	66	54	27,5	23	33,3
Пропускная способность, Q , $\text{м}^3/\text{ч}$	11,64	10,99	13,91	12,27	13,09	23	20,97
Потребляемая мощность, W , кВт	36,87	51,26	46,46	57,19	63,68	68,23	66,56

*Последовательная подача — № 1–3, № 6, 7; параллельная — № 4, 5.

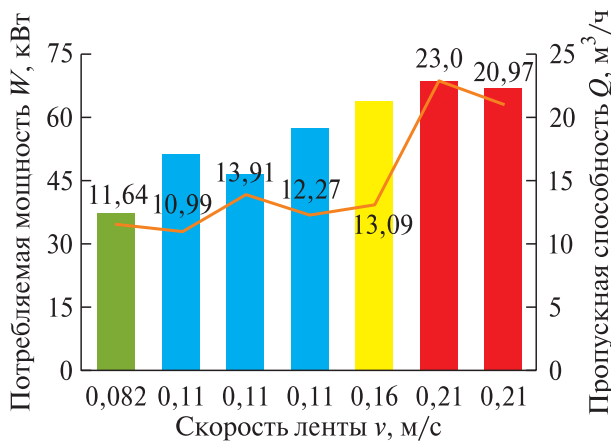


Рис. 12. Влияние скорости ленты и объема подачи материала на потребляемую мощность

Fig. 12. The influence of the belt speed and the amount of material supply on the power consumption

Изменение пропускной способности рубительного комплекса РБ-55 при измельчении круглого лесоматериала, как и в случае с горбылем, с допустимой степенью точности описывается полиномом третьей степени (рис. 14)

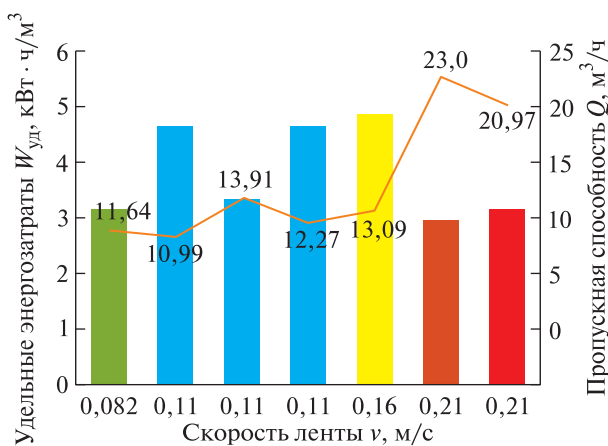


Рис. 13. Изменение удельных энергозатрат в зависимости от скорости ленты и подачи материала

Fig. 13. Change in specific energy consumption depending on the speed of the belt and the material supply

$$Q = 14093v^3 - 5124,7v^2 + 618,32v - 12,374, \quad R^2 = 1. \quad (5)$$

Фракционный состав в среднем аналогичен фракционному составу измельченного на сите

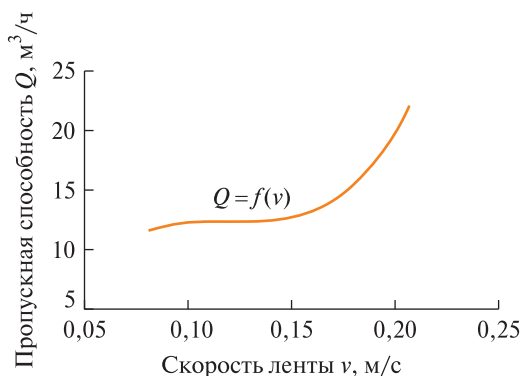


Рис. 14. Теоретическая зависимость пропускной способности рубительного комплекса РБ-55 от скорости ленты при измельчении круглого лесоматериала

Fig. 14. Theoretical dependence of the throughput of the RB-55 chopping complex on the belt speed when grinding round timber

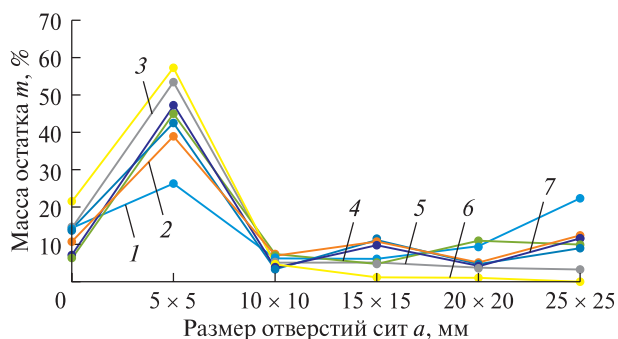


Рис. 15. Распределение измельченного материала по ситам при разной пропускной способности машины Q (м³/ч): 1 — 11,64; 2 — 10,99; 3 — 13,91; 4 — 12,27; 5 — 13,09; 6 — 23; 7 — 20,97

Fig. 15. Distribution of crushed material by sieves Q (m³/h): 1 — 11,64; 2 — 10,99; 3 — 13,91; 4 — 12,27; 5 — 13,09; 6 — 23; 7 — 20,97

Т а б л и ц а 3

Размеры характерных частиц измельченного материала, выбранных по остаткам на ситах (для круглого лесоматериала (ель)) при разной пропускной способности машины Q (м³/ч)

Size of characteristic particles of crushed material selected from residues on sieves (for round timber (spruce)) at different machine capacities Q (m³/h)

Размер отверстий сита, мм	Размеры характерных частиц (длина×ширина×толщина), мм						
	Q = 11,64	Q = 10,99	Q = 13,91	Q = 12,27	Q = 13,09	Q = 23	Q = 20,97
25×25	110×27×20	140×27×18	53×35×5	—	100×27×7 85×28×6	50×40×6 95×19×17	90×21×14 60×45×8
20×20	90×12×3 70×20×4 50×20×7	63×20×4 57×30×4	70×16×6 75×15×4 34×28×4	60×16×5	55×20×10 60×20×4 58×25×3	70×20×5 67×20×14 50×20×10	35×30×6
15×15	30×15×6 30×18×8 31×19×3	20×15×7 30×15×7 25×17×8	25×20×4 35×15×5 40×20×1	33×23×20	84×10×6 26×17×2 20×16×4	60×20×6 94×10×1	56×20×4 30×30×3 24×21×3
10×10	18×16×5 27×14×6 17×16×1	20×10×6 25×9×7 25×17×8	35×11×4 18×15×5 25×9×6	23×9×7 34×7×4 30×10×6	19×17×2 20×12×9 21×15×5	23×11×10 16×14×3 21×17×5	25×11×5 20×19×3
5×5	7×8×3 5×5×2 11×6×1	6×5×3 10×5×1 10×6×2	9×7×4 7×5×4 14×5×2	5×5×3 5×5×4 6×5×2	10×6×3 7×6×2 15×5×3	9×5×4 10×7×3 10×5×3	20×5×2 10×6×3 15×18×2

40×40 мм горбыля (рис. 15, табл. 3), т. е. можно утверждать незначимость для фракционного состава измельченной древесины такого параметра, как величина отверстий сита.

Таким образом, получаемая по ГОСТ 15815–83 щепа соответствует марке ПС, предназначенной для изготовления древесно-стружечной плиты.

Выводы

1. Построены прогнозные зависимости в виде полинома третьей степени, позволяющие рассчитать потребляемую мощность измельчения от пропускной способности рубительного комплекса.

2. По выведенным зависимостям спрогнозирована максимальная пропускная способность рубительного комплекса при измельчении горбыля сосны влажностью 23...30 % — 9 м³/ч.

3. Пропускная способность рубительного комплекса РБ-55 при измельчении круглого лесоматериала (ель) также описывается полиномом третьей степени.

4. Максимальная пропускная способность комплекса РБ-55 при измельчении круглого лесоматериала (ель) влажностью 47,8 % достигает 23 м³/ч. При этом суммарная потребляемая мощность электродвигателей составляет 68,23 кВт.

5. Щепа, получаемая на рубительном комплексе РБ-55, соответствует марке ПС, предназначенной для изготовления древесно-стружечной плиты.

Список литературы

[1] Государственная программа Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» от 15 апреля 2014 г. URL: <https://base.garant.ru/70643464/> (дата обращения 07.08.2022).

- [2] Баклагин В.Н. Обоснование технологических решений, повышающих эффективность производства щепы энергетического назначения на лесосеке: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Петрозаводск, 2011. 24 с.
- [3] Коробов В.В., Рушнов Н.П. Переработка низкокачественного сырья (проблемы безотходной технологии). М.: Экология, 1991. 288 с.
- [4] Пискунов М.А. Системы машин и себестоимость получения топливной щепы из лесосечных отходов: опыт зарубежных стран и его приложение для России // Вестник КрасГАУ, 2013. № 8. С. 238–243.
- [5] ГОСТ 15815–83. Щепка технологическая. Технические условия. Введ. 01.01.85. М.: Госстандарт России, 1985. 15 с.
- [6] ISO 17225-4:2021. Твердое биотопливо. Спецификации и классы топлива. Часть 4. Сортированная древесная щепка (Solid biofuels — Fuel specifications and classes — Part 4: Graded wood chips). Введ. 19.02.2021. Женева, 2021. 10 с.
- [7] Галактионов О.Н. Совершенствование сквозных технологических процессов лесосечных работ с рециклингом лесосечных отходов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.01: защищена: 25.03.2016. Петрозаводск, 2016. 315 с.
- [8] Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25 января 2018 г. № 84-р. Москва, 2018. С. 1–59. URL: <https://docs.cntd.ru/document/556353696> (дата обращения 07.08.2022).
- [9] Бакуров Е.В. Обработка низкотоварной древесины на комплексах лесопромышленных предприятиях // Системы. Методы. Технологии, 2019. № 2 (42). С. 100–104.
- [10] Михайлов К.Л., Гушин В.А., Тараканов А.М. Организация сбора и переработки лесосечных отходов и дров на лесосеке // Лесной журнал, 2016. № 6. С. 98–109.
- [11] Суханов Ю.В., Соколов А.П., Герасимов Ю.Ю. Оценка экономической эффективности систем машин для производства топливной щепы в Республике Карелия // Resources and Technology, 2013. № 10 (1). С. 1–23.
- [12] Шегельман И.Р., Скрышник В.И., Кузнецов А.В., Васильев А.С. Тенденции развития современного лесного машиностроения // Инженерный вестник Дона, 2016. № 2. С. 30.
- [13] Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года от 11 февраля 2021 года №312-р. Москва, 2018. 102 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573658653> (дата обращения 07.08.2022).
- [14] Spinelli R., Marchi E. Trends and perspectives in the desing of mobile wood chippers // Croat. J. for. Eng., 2021, v. 42(1). DOI:10.5552/crojfe.2021.787
- [15] Spinelli R., Hartsough B. A survey of Italian chipping operations // Biomass and Bioenergy, 2001, v. 21(6), pp. 433–444. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(01\)00050-2](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(01)00050-2)
- [16] Spinelli R., Visser R.J.M. Analyzing and estimating delays in wood chipping operations // Biomass and Bioenergy, 2009, v. 33(3), pp. 429–433. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.08.003>
- [17] Gard Timmerfors J., Sjölund T., Jönsson L.J. New drum-chipping technology for a more uniform size distribution of wood chips // Holzforschung, 2020, v. 74(2), pp. 116–122. <https://doi.org/10.1515/hf-2018-0279>
- [18] Фокин С.В., Ахметов Э.А. О перспективных конструкциях рубительных машин // Аграрный научный журнал, 2020. № 7. С. 85–88.
- [19] Spinelli R., Cavallo E., Eliasson L., Facello A. Comparing the efficiency of drum and disc chippers // Silva Fennica, 2013, v. 47, no. 2, article id 930. <https://doi.org/10.14214/sf.930>
- [20] Spinelli R., Magagnotti N. A tool for productivity and cost forecasting of decentralised wood chipping // Forest Policy and Economics, 2010, v. 12(3), pp. 194–198. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2009.10.002>
- [21] Spinelli R., Magagnotti N. The effect of raw material, cut length, and chip discharge on the performance of an industrial chipper // Forest Products J., 2013, v. 62(7–8), pp. 58–589. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-12-00083.1>
- [22] Spinelli R., Magagnotti N. Using disposable chipper knives to decrease wood fuel processing cost // Fuel Processing Technology, 2014, v. 126, pp. 415–419. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.05.026>
- [23] Баранов Н.Ф., Фуфачев В.С., Ступин И.В. Определение силы затягивания материала ножом рубительной машины // Аграрная наука Евро-Северо-Востока, 2016. № 1 (50). С. 70–75.
- [24] Патент № 2626172 Российская Федерация, МПК В27L 11/00. Рубительная машина / Баранов Н.Ф., Фуфачев В.С., Ступин И.В.; заявитель и патентообладатель Минсельхоз России ФГБОУ ВО «Вятская государственная сельскохозяйственная академия» / № 2015155891. Бюл. № 21. 9 с.
- [25] А. с. 1782746 СССР, МПК В27L 11/00. Барабанная рубительная машина / Волков А.Я. № 4872008/15; заявл. 18.07.90; опубл. 23.12.92. Бюл. №47. 3 с.
- [26] А. с. 1437230 СССР, МПК В27L 11/02. Барабанная рубительная машина для измельчения древесных отходов / Трещиков Г.М., Люкин Ю.А. № 4256231/29-15; заявл. 03.06.87; опубл. 15.11.88. Бюл. № 42. 3 с.
- [27] Коробов В.В., Рушнов Н.П. Переработка низкокачественного сырья (проблемы безотходной технологии). М.: Экология, 1991. 288 с.
- [28] ОСТ 13-28–74 Горбыль деловой хвойных и лиственных пород. Введ. 18.07.1974. М.: Минлесхоз, 1974. 5 с.
- [29] ГОСТ 2708–75 Лесоматериалы круглые. Таблица объемов. М.: Стандартинформ, 2006. 37 с.
- [30] ГОСТ 15815–83 Щепка технологическая. Технические условия. М.: Госстандарт России, 1985. 15 с.

Сведения об авторах

Булатов Сергей Юрьевич [✉] — д-р. техн. наук, доцент, профессор кафедры технического сервиса ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет» (НГИЭУ), bulatov_serгей_urevich@mail.ru

Нечаев Владимир Николаевич — канд. техн. наук, доцент кафедры технических и биологических систем ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет» (НГИЭУ), nechaev-v@list.ru

Сергеев Александр Георгиевич — канд. техн. наук, генеральный директор ООО «Доза-Агро», office@dozaagro.ru

Поступила в редакцию 14.10.2022.

Одобрено после рецензирования 15.11.2022.

Принята к публикации 21.03.2023.

RESULTS OF RB-55 CHOPPING COMPLEX PRODUCTION INSPECTION

S.Y. Bulatov^{1✉}, V.N. Nechaev¹, A.G. Sergeev²

¹Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics (GBOU VO «NGIEU»), 22a, Oktyabrskaya st., 606340, Knyaginino, Nizhny Novgorod reg., Russia

²LLC «Dose-Agro», 20, Zhirkombinata highway st., 603124, Nizhny Novgorod, Russia

bulatov_serгей_urevich@mail.ru

A detailed description of the design and principle of the RB-55 chopping complex operation, developed at a Nizhny Novgorod company and designed for grinding wood materials, is presented. Predictive dependences in the form of a third-degree polynomial for calculating the grinding power consumption are obtained, the maximum throughput of the chopping complex is predicted when chopping pine slabwood with a humidity of 23...30 % — 9 m³/h. The maximum throughput capacity of the RB-55set for grinding round wood (spruce) with a humidity of 47,8% is 23 m³/h, and the total power consumption of electric motors is 68,23 kW. It is established that the resulting chips correspond to the brand of PS intended for the chipboard manufacture.

Keywords: grinding, grinding quality, throughput, chopping complex, energy consumption


Suggested citation: Bulatov S.Y., Nechaev V.N., Sergeev A.G. *Rezul'taty proizvodstvennoy proverki rubitel'nogo kompleksa RB-55* [Results of RB-55 chopping complex production inspection]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 3, pp. 57–68. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-3-57-68

References

- [1] *Gosudarstvennaya programma Rossiyskoy Federatsii «Razvitie promyshlennosti i povyshenie ee konkurentosposobnosti» ot 15 aprelya 2014 g* [The State Program of the Russian Federation «Industrial Development and Increasing its Competitiveness» dated 15 April 2014]. Available at: <https://base.garant.ru/70643464/> (accessed 07.08.2022).
- [2] Baklagin V.N. *Obosnovanie tekhnologicheskikh resheniy, povyshayushchikh effektivnost' proizvodstva shchepy energeticheskogo naznacheniya na leseke* [Substantiation of technological solutions that increase the efficiency of the production of wood chips for energy purposes at the logging site: author]. Dis. Cand. Sci. (Tech.) 05.21.01. Petrazovodsk, 2011, 24 p.
- [3] Korobov V.V., Rushnov N.P. *Pererabotka nizkokachestvennogo syr'ya (problemy bezotkhodnoy tekhnologii)* [Processing of low-quality raw materials (problems of non-waste technology)]. Moscow: Ecology, 1991, 288 p.
- [4] Piskunov M.A. *Sistemy mashin i sebestoimost' polucheniya toplivnoy shchepy iz lesechnykh otkhodov: opyt zarubezhnykh stran i ego prilozhenie dlya Rossii* [Machine systems and the cost of obtaining fuel chips from logging waste: the experience of foreign countries and its application for Russia]. *Vestnik KrasGAU*, 2013, no. 8, pp. 238–243.
- [5] GOST 15815–83 *Shchepa tekhnologicheskaya. Tekhnicheskie usloviya* [Chips technological. Specifications]. Introduction 01.01.85. Moscow: Gosstandart of Russia, 1985, 15 p.
- [6] ISO 17225-4:2021 *Tverdoe biotoplivo. Spetsifikatsii i klassy topliva. Chast' 4. Sortirovannaya drevesnaya shchepa (Solid biofuels — Fuel specifications and classes — Part 4: Graded wood chips)* [Solid biofuels. Specifications and classes of fuel. Part 4. Sorted wood chips (Solid biofuels — Fuel specifications and classes — Part 4: Graded wood chips)]. Introduction 19.02.2021. Geneva, 2021, 10 p.
- [7] Galaktionov O.N. *Sovershenstvovanie skvoznykh tekhnologicheskikh protsessov lesechnykh rabot s retsiklingom lesechnykh otkhodov* [Improvement of end-to-end technological processes of logging operations with recycling of logging waste]. Dis. Dr. Sci. (Tech.) 05.21.01, 2015, 315 p.
- [8] *Strategiya razvitiya promyshlennosti po obrabotke, utilizatsii i obvezvrezhivaniyu otkhodov proizvodstva i potrebleniya na period do 2030 goda ot 25 yanvarya 2018 g. № 84-r.* [Strategy for the development of industry for the processing, recycling and disposal of production and consumption waste for the period up to 2030 dated 25 January 2018 no. 84-r.] Moscow, 2018. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/556353696> (accessed 07.08.2022).
- [9] Bakurov E.V. *Obrabotka nizkotovarnoy drevesiny na kompleksakh lesopromyshlennykh predpriyatiyakh* [Processing of low-value wood at the complexes of timber industry enterprises]. *Sistemy Metody Tekhnologii* [Systems Methods of Technology], 2019, no. 2 (42), pp. 100–104.

- [10] Mikhaylov K.L., Gushchin V.A., Tarakanov A.M. *Organizatsiya sbora i pererabotki lesosechnykh otkhodov i drov na lesoseke* [Organization of collection and processing of logging waste and firewood at the logging site]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2016, no. 6, pp. 98–109.
- [11] Sukhanov Yu.V., Sokolov A.P., Gerasimov Yu.Yu. *Otsenka ekonomicheskoy effektivnosti sistem mashin dlya proizvodstva toplivnoy shchepy v Respublike Kareliya* [Evaluation of the economic efficiency of machine systems for the production of fuel chips in the Republic of Karelia]. *Resources and Technology* [Resources and Technology], 2013, no. 10 (1), pp. 1–23.
- [12] Shegel'man I.R., Skrypnik V.I., Kuznetsov A.V., Vasil'ev A.S. *Tendentsii razvitiya sovremennogo lesnogo mashinostroeniya* [Trends in the development of modern forestry engineering]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2016, no. 2, p. 30.
- [13] *Strategiya razvitiya lesnogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda ot 11 fevralya 2021 goda №312-r*. [Strategy for the development of the forest complex of the Russian Federation until 2030 dated February 11, 2021 No. 312-r]. Moscow, 2018, 102 p. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/573658653> (accessed 07.08.2022).
- [14] Spinelli R., Marchi E. Trends and perspectives in the desing of mobile wood chippers. *Croat. J.for. Eng.*, 2021, v. 42(1). DOI:10.5552/crojfe.2021.787
- [15] Spinelli R., Hartsough B. A survey of Italian chipping operations. *Biomass and Bioenergy*, 2001, v. 21(6), pp. 433–444. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(01\)00050-2](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(01)00050-2)
- [16] Spinelli R., Visser R.J.M. Analyzing and estimating delays in wood chipping operations. *Biomass and Bioenergy*, 2009, v. 33(3), pp. 429–433. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.08.003>
- [17] Gard Timmerfors J., Sjölund T., Jönsson L.J. New drum-chipping technology for a more uniform size distribution of wood chips. *Holzforchung*, 2020, v. 74(2), pp. 116–122. <https://doi.org/10.1515/hf-2018-0279>
- [18] Fokin S.V., Akhmetov E.A. *O perspektivnykh konstruksiyakh rubitel'nykh mashin* [On promising designs of chippers]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agrarian scientific journal], 2020, no. 7, pp. 85–88.
- [19] Spinelli R., Cavallo E., Eliasson L., Facello A. Comparing the efficiency of drum and disc chippers. *Silva Fennica*, 2013, v. 47, no. 2, article id 930. <https://doi.org/10.14214/sf.930>
- [20] Spinelli R., Magagnotti N. A tool for productivity and cost forecasting of decentralized wood chipping. *Forest Policy and Economics*, 2010, v. 12(3), pp. 194–198. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2009.10.002>
- [21] Spinelli R., Magagnotti N. The effect of raw material, cut length, and chip discharge on the performance of an industrial chipper. *Forest Products J.*, 2013, v. 62(7–8), pp. 58–589. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-12-00083.1>
- [22] Spinelli R., Magagnotti N. Using disposable chipper knives to decrease wood fuel processing cost. *Fuel Processing Technology*, 2014, v. 126, pp. 415–419. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.05.026>
- [23] Baranov N.F., Fufachev V.S., Stupin I.V. *Opredelenie sily zatyagivaniya materiala nozhom rubitel'noy mashiny* [Determination of the pulling force of the material by the knife of the chipper]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* [Agrarian science of the Euro-North-East], 2016, no. 1 (50), pp. 70–75.
- [24] Baranov N.F., Fufachev V. S., Stupin I. V. *Rubitel'naya mashina* [Chipping machine]. Patent 2626172 RF, MPK B27L 11/00. / № 2015155891. Zayavitel' i patentoobladatel' Ministerstvo sel'skogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Vyatskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya» [Patent 2626172 RF, IPC B27L 11/00. No. 2015155891. Applicant and patent holder Ministry of Agriculture of the Russian Federation Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Vyatka State Agricultural Academy»]. Bull. no. 21, 9 p.
- [25] Volkov A.Ya. *Barabannaya rubitel'naya mashina* [Drum chipper]. A. s. 1782746 SSSR, MPK B27L 11/00. № 4872008/15 [Certificate of authorship 1782746 USSR, IPC B27L 11/00, no. 4872008/15], Appl. 18.07.90; publ. 23.12.92, bull. no. 47, 3 p.
- [26] Treshchikov G.M., Lyukin Yu.A. *Barabannaya rubitel'naya mashina dlya izmel'cheniya drevesnykh otkhodov* [Drum chipper for wood waste shredding]. A. s. 1437230 SSSR, MPK B27L 11/02. № 4256231/29-15 [Certificate of authorship 1437230 USSR, IPC B27L 11/02, no. 4256231/29-15]. Appl. 03.06.87; publ. 15.11.88, bull. no. 42, 3 p.
- [27] Korobov V.V., Rushnov N.P. *Pererabotka nizkokachestvennogo syr'ya (problemy bezotkhodnoy tekhnologii)* [Processing of low-quality raw materials (problems of non-waste technology)]. Moscow: Ecology, 1991, 288 p.
- [28] OST 13-28-74 *Gorbyl' delovoy khvoynykh i listvennykh porod* [Business slab of coniferous and hardwood species]. Introduction 18.07.1974. Moscow: Minleskhoz, 1974, 5 p.
- [29] GOST 2708-75 *Lesomaterialy kruglye. Tablitsa ob'emov* [Round timber. Volume table]. Moscow: Standartinform, 2006, 37 p.
- [30] GOST 15815-83 *Shchepa tekhnologicheskaya. Tekhnicheskie usloviya* [Technological chips. Specifications]. Moscow: Gosstandart of Russia, 1985, 15 p.

Authors' information

Bulatov Sergey Yur'evich  — Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor, Professor of the Department of Technical Service of the Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, bulatov_sergey_urevich@mail.ru

Nechaev Vladimir Nikolaevich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Technical and Biological Systems of the Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, nechaev-v@list.ru

Sergeev Aleksandr Georgievich — Cand. Sci. (Tech.), General Director of Doza-Agro LLC, office@dozaagro.ru

Received 14.10.2022.

Approved after review 15.11.2022.

Accepted for publication 21.03.2023.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
 Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
 Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
 The authors declare that there is no conflict of interest