

УДК 514.8; 676.011

UDC 514.8; 676.011

05.00.00 Технические науки

Technical Sciences and Engineering

УТОЧНЕННАЯ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ ДЛИНЫ БАЛАНСА, ИЗМЕЛЬЧАЕМОГО В ДИСКОВОЙ РУБИТЕЛЬНОЙ МАШИНЕ, НА РАЗМЕРЫ ЧАСТИЦ ДРЕВЕСНОЙ ЩЕПЫ

THE UPDATED MODEL OF THE INFLUENCE OF LOGS LENGTH ONTO A SIZE OF WOODEN CHIPS PRODUCED WITH THE USE OF A DISC CHIPPER

Колесников Геннадий Николаевич
д.т.н., профессор
SPIN-код: 9258-5271
*ФГБОУВПО «Петрозаводский государственный университет» (ПетрГУ), Институт лесных, инженерных и строительных наук.
185910, Россия, Петрозаводск, пр. Ленина, 33.
E-mail: kgn@petsu.ru*

Kolesnikov Gennadij Nikolaevich
Dr.Sci.Tech., professor
SPIN-code: 9258-5271
*Petrozavodsk State University,
185910 Petrozavodsk, Russia, Lenin pr., 33,
Institute of Forestry, Engineering and Building Sciences.
E-mail: kgn@petsu.ru*

Девятникова Людмила Анатольевна
к.т.н., доцент
SPIN-код: 5211-1259
*ФГБОУВПО «Петрозаводский государственный университет» (ПетрГУ).
185910, Россия, Петрозаводск, пр. Ленина, 33.*

Devjatnikova Ljudmila Anatolyevna
Cand.Tech.Sci., associate professor
SPIN-code: 5211-1259
*Petrozavodsk State University,
185910 Petrozavodsk, Russia, Lenin pr., 33*

Доспехова Наталья Анатольевна
SPIN-код: 8561-3087
старший преподаватель
*ФГБОУВПО «Петрозаводский государственный университет» (ПетрГУ).
185910, Россия, Петрозаводск, пр. Ленина, 33.*

Dosphehova Natalya Anatolyevna
SPIN-code: 8561-3087
senior lecturer
*Petrozavodsk State University,
185910 Petrozavodsk, Russia, Lenin pr., 33*

Васильев Сергей Борисович
д.т.н., профессор,
SPIN-код: 3694-7763
*ФГБОУВПО «Петрозаводский государственный университет» (ПетрГУ),
Институт лесных, инженерных и строительных наук.
185910, Россия, Петрозаводск, пр. Ленина, 33.*

Vasilyev Sergey Borisovich
Dr.Sci.Tech., professor
SPIN-code: 3694-7763
*Petrozavodsk State University,
185910 Petrozavodsk, Russia, Lenin pr., 33,
Institute of Forestry, Engineering and Building Sciences*

В статье предложена уточненная модель влияния длины бревен (балансов), измельчаемых в дисковой рубительной машине, на геометрические характеристики древесной щепы. В данной статье внимание фокусируется на том обстоятельстве, что длина любого баланса в процессе его измельчения уменьшается. По этой причине на финишной стадии данной технологической операции стандартный баланс с начальной длиной 1,2 м неизбежно трансформируется в короткомер, условия измельчения которого в рассматриваемой рубительной машине существенно отличаются от условий измельчения того же баланса на старте его измельчения. Задача учета этих изменений сведена к поиску решения трансцендентного уравнения. Результаты численного моделирования указывают на прогрессирующую тенденцию уменьшения угла скоса и увеличения длины частиц щепы с уменьшением длины измельчаемого бревна.

The article proposes the updated model of the influence of logs length onto a size of wooden chips produced with the use of a disk chipper. This article focuses on the fact that the length of any of the logs in the process of chipping is reduced. For this reason at the final stage of chipping, any of the logs with a standard initial length of 1.2 m inevitably transform into short logs, for which the conditions of chipping are significantly different from the chipping conditions at the start of chipping. The task of accounting for these changes is reduced to finding a solution of the transcendental equation. The results of numerical simulation indicate a progressing decreasing trend in the bevel angle and increasing in the length of the particles of wood chips with decreasing of logs length. Adequacy of the modeling results confirmed by laboratory tests and production experiment. Measuring linear and angular dimensions of chip real particles showed that the particles of such length may be equal

Адекватность результатов моделирования подтверждена лабораторными исследованиями и производственным экспериментом. Измерения линейных и угловых размеров реальных частиц щепы показали, что длина такой частицы может быть равна 7 см, что в 3,5 раза больше стандартной длины, равной 2 см. Угол скоса плоскости среза данной частицы может составить 14°, что примерно в три раза меньше стандартной величины, равной 39°–43°. Обсуждается также сравнение с приближенным решением, которое было опубликовано в 2012 г. Статья может быть полезна для специалистов древесно-подготовительного цикла целлюлозно-бумажных комбинатов

to 7 cm, which is 3.5 times larger than the standard length of 2 cm. The angle of the bevel of the cutting plane of the particle may be 14°, which is approximately three times less of standard value equal 39°–43°. We also discuss the comparison with the approximate solution, which was published in 2012 year. The article can be useful for specialists of wood-preparatory cycle in the paper industry

Ключевые слова: ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ДРЕВЕСНАЯ ЩЕПА, ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ, ДИСКОВАЯ РУБИТЕЛЬНАЯ МАШИНА

Keywords: NUMERICAL MODELING, WOOD CHIPS, GEOMETRICAL PARAMETERS, DISC CHIPPERS

1. Введение

Щепа является разновидностью измельченной древесины, характеристики которой определяются по ГОСТ 23246-78 «Древесина измельченная. Термины и определения». Из этих разновидностей щепы занимает доминирующее место по объемам производства и потребления. Щепа используется в качестве основного сырья в целлюлозно-бумажной промышленности, а также в производстве древесно-стружечных плит, в гидролизном производстве, используется в качестве топлива и в других целях. Чтобы обеспечить выполнение возрастающих требований рационального природопользования и конкурентоспособности выпускаемой продукции, характеристики щепы должны соответствовать требованиям каждого из потребителей. Основными являются требования к форме и размерам частиц щепы, получаемой на рубительных машинах путём измельчения круглых лесоматериалов определённой породы, длины и диаметра. В этой связи появляется многоплановая проблема совершенствования технологии производства щепы. Данная проблема включает в себя геометрические, механические [10, 11], технологические и другие аспекты. Комментарии к публикациям по данной теме можно

найти, например, в обзорных частях работ [7, 9]. Материал данной статьи сфокусирован на геометрических аспектах проблемы. В оригинальной части статьи [7] теоретически показано, что по мере уменьшения длины баланса снижается качество щепы на выходе дисковой рубительной машины с гравитационной загрузкой. На качество вырабатываемой щепы влияет также конструкция ножей и ножевого диска рубительной машины [9, 13]. Анализ других возможностей повышения эффективности функционирования рубительных машин представлен в работах [6, 14, 15].

В данной статье, которая является продолжением работы [7], предложена уточненная модель влияния длины балансов, измельчаемых в дисковой рубительной машине, на геометрические характеристики древесной щепы. Соответствующая задача сведена к поиску решения трансцендентного уравнения. Адекватность результатов моделирования подтверждена лабораторными исследованиями и производственным экспериментом. В целях проверки адекватности приведено также сравнение с полученным в 2012 г. приближенным решением той же задачи [7].

2. Материалы, методы и результаты

На фракционный состав и на качество щепы влияют особенности конструкции рубительной машины [6], доля короткомеров в потоке балансов, измельчаемых в рубительной машине [9] и другие факторы [8, 14, 15]. Короткомеры в рассматриваемом случае определены как отрезки бревен длиной не более 0,8 м. Очищенные от коры короткомеры и балансы стандартной длины (1,2 м) в общем потоке балансов до их загрузки в рубительную машину показаны на рисунке 1.



Рисунок 1. – Короткомеры в потоке очищенных от коры балансов [7]

В работе [9] по результатам производственного эксперимента получены количественные оценки изменения качества щепы в зависимости от доли короткомеров в указанном выше потоке балансов. В данной статье, как и в работе [7], внимание фокусируется на том обстоятельстве, что длина любого баланса в процессе его измельчения уменьшается. По этой причине на финишной стадии данной технологической операции стандартный баланс с начальной длиной 1,2 м неизбежно трансформируется в короткомер, условия измельчения которого в рассматриваемой рубительной машине существенно отличаются от условий измельчения того же баланса на старте его измельчения. Как отмечено выше, приближенное (линеаризованное) решение появляющейся в этой связи задачи предложено в статье [7]. В ближайшем изложении предлагается более точное решение той же задачи. Для решения данной задачи использованы методы математического моделирования, измерения в лаборатории и производственные эксперименты. Схема образования частицы щепы показана на рисунке 2.

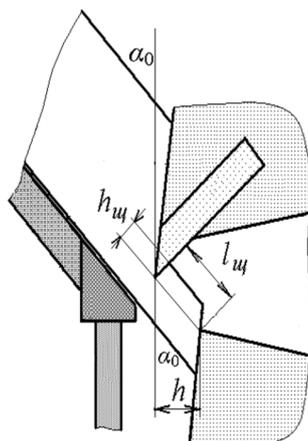


Рисунок 2 – Схема образования частицы щепы

Более подробные данные о схемах образования частиц щепы приведены, например, в книге [6]. Толщина частицы щепы $h_{щ}$ зависит от ряда факторов [6] и в данной работе не обсуждается. Длина частицы щепы $l_{щ}$ связана с величиной зазора h соотношением $l_{щ} = h / \sin \alpha_0$. В известных схемах образования частицы щепы по умолчанию предполагается, что угол наклона продольной оси баланса равен α_0 , т.е. равен углу наклона продольной оси загрузочного патрона рубительной машины к вертикальной плоскости (точнее – к плоскости вращения ножевого диска). На самом деле длина баланса в процессе его измельчения уменьшается и, как следствие, угол наклона продольной оси баланса уменьшается на величину β (рисунок 3). Если диаметр баланса d равен поперечному размеру загрузочного устройства D , то $\beta=0$; однако на практике $d < D$.

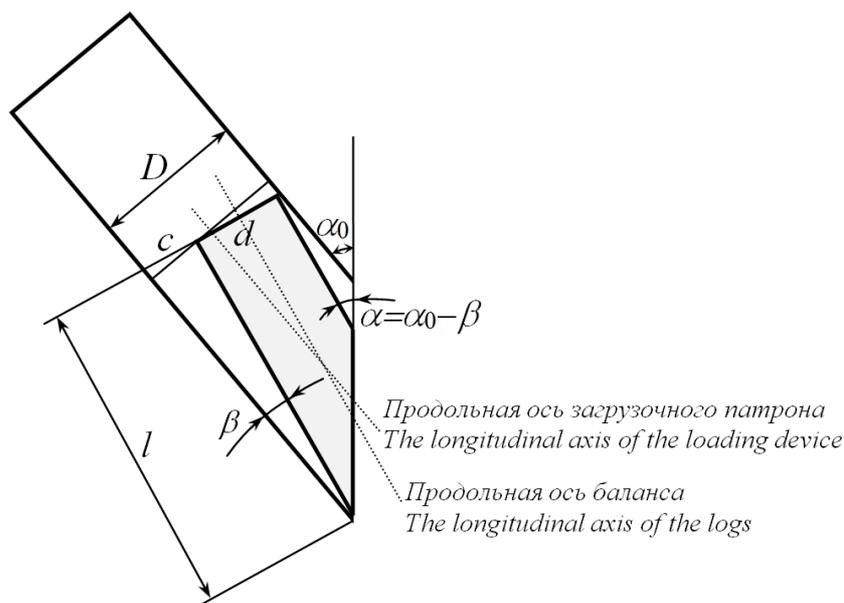


Рисунок 3 – Баланс диаметром d в загрузочном устройстве

Соответственно (см. рисунок 2 и 3),

$$l_{щ} = h / \sin \alpha, \quad \alpha = \alpha_0 - \beta. \quad (1)$$

Таким образом, с уменьшением длины баланса длина частиц щепы будет возрастать. Конструкция рассматриваемой рубительной машины такова, что угол β может принимать значения $0 \dots \alpha_0$. Тогда, если $\beta = \alpha_0$, то $\alpha = 0$. Это означает, что продольная ось баланса параллельна плоскости вращения ножевого диска, т.е. имеет место скалывание древесины вдоль волокон. Соответствующие частицы щепы можно обнаружить методом рассева (рисунок 4).



Рисунок 4 – Результаты лабораторного отсева: 1 – крупная некондиционная щепа; 2 – крупная кондиционная щепа; 3 – мелкая кондиционная щепа (с примесями некондиционных частиц); 4 – некондиционная фракция («иголочки»); 5 – мелкая некондиционная фракция (опилки и пыль) [7].

Таким образом, задача оценки влияния длины баланса, измельчаемого в дисковой рубительной машине, на длину частиц древесной щепы, сводится к определению указанного в формуле (1) угла β .

Чтобы определить β , рассмотрим схему на рисунке 3. Находим: $D=(c+d)\cos\beta$; $\sin\beta=(c\cos\beta)/l=(D-d\cos\beta)/l$. Как отмечено выше, конструкция рассматриваемой рубительной машины такова, что угол β может принимать значения $0 \dots \alpha_0$. Задавая значения D , d , l и численно решив уравнение

$$\sin\beta = (D-d\cos\beta)/l, \quad (2)$$

найдем β . Затем длину частиц щепы (1).

Полученные по рассмотренной методике значения угла β можно рассматривать как уточненные по сравнению с результатами вычислений по упрощенной (линеаризованной) методике [7], в которой предполагалось, что $\beta=0$ (см. таблицы 1, 2, 3).

Таблица 1 – Уточненные значения угла β

Номер строки	D, м	Диаметр баланса, м	Длина баланса в процессе измельчения в рубительной машине, м:					
			1,2	1	0,8	0,6	0,4	0,2
			Уточненное значение угла β , градусы:					
1	0,6	0,36	11,5	13,9	17,5	23,6	36,9	
2	0,6	0,24	17,5	21,1	26,7	36,9	64,2	
3	0,6	0,12	23,6	28,7	36,9	53,1		
4	0,5	0,36	6,7	8,0	10,1	13,5	20,5	44,4
5	0,5	0,24	12,5	15,1	19,0	25,7	40,5	
6	0,5	0,12	18,5	22,3	28,6	39,3	71,8	
7	0,4	0,36	1,9	2,3	2,9	3,8	5,7	11,5
8	0,4	0,24	7,7	9,2	11,5	15,5	23,6	53,1
9	0,4	0,12	13,5	16,3	20,5	27,8	44,4	

Таблица 2 – Приближенные значения угла β

Номер строки	D, м	Диаметр баланса, м	Длина баланса в процессе измельчения в рубительной машине, м:					
			1,2	1	0,8	0,6	0,4	0,2
			Приближенное значение угла β , градусы:					
1	0,6	0,36	11,3	13,5	16,7	21,8	31,0	50,2
2	0,6	0,24	16,7	19,8	24,2	31,0	42,0	60,9
3	0,6	0,12	21,8	25,6	31,0	38,7	50,2	67,4
4	0,5	0,36	6,7	8,0	9,9	13,1	19,3	35,0
5	0,5	0,24	12,2	14,6	18,0	23,4	33,0	52,4
6	0,5	0,12	17,6	20,8	25,4	32,3	43,5	62,2
7	0,4	0,36	1,9	2,3	2,9	3,8	5,7	11,3
8	0,4	0,24	7,6	9,1	11,3	14,9	21,8	38,7
9	0,4	0,12	13,1	15,6	19,3	25,0	35,0	54,5

Таблица 3 – Приближенные значения β как доли уточненных значений

Номер строки	D, м	Диаметр баланса, м	Длина баланса в процессе измельчения в рубительной машине, м:					
			1,2	1	0,8	0,6	0,4	0,2
			Приближенное значение угла β , в процентах от уточненного значения:					
1	0,6	0,36	98,3%	97,1%	95,4%	92,4%	83,9%	
2	0,6	0,24	95,4%	93,8%	90,7%	83,9%	65,4%	
3	0,6	0,12	92,4%	89,3%	83,9%	72,8%		
4	0,5	0,36	99,3%	99,6%	98,3%	97,3%	94,1%	78,8%
5	0,5	0,24	97,8%	96,5%	94,8%	91,2%	81,5%	
6	0,5	0,12	95,0%	93,3%	88,8%	82,3%	60,6%	
7	0,4	0,36	100,5%	99,6%	98,7%	100,4%	100,2%	98,3%
8	0,4	0,24	98,6%	98,8%	98,3%	96,3%	92,4%	72,8%
9	0,4	0,12	97,3%	96,0%	94,1%	90,0%	78,8%	

Приведем результаты вычислений угла α при $\alpha_0=37^\circ$ (1) (таблица 4 и рисунок 5). Оптимизация α_0 требует отдельного рассмотрения.

Таблица 4 – Уточненное значение угла скоса частиц щепы

Номер строки	D, м	Диаметр баланса, м	Длина баланса в процессе измельчения в рубительной машине, м:					
			1,2	1	0,8	0,6	0,4	0,2
			Уточненное значение угла скоса частиц щепы $\alpha=\alpha_0-\beta$, градусы ($\alpha_0=37^\circ$)					
1	0,6	0,36	25,5	23,1	19,5	13,4	0,1	
2	0,6	0,24	19,5	15,9	10,3	0,1	-27,2	
3	0,6	0,12	13,4	8,3	0,1	-16,1		
4	0,5	0,36	30,3	29	26,9	23,5	16,5	-7,4
5	0,5	0,24	24,5	21,9	18	11,3	-3,5	
6	0,5	0,12	18,5	14,7	8,4	-2,3	-34,8	
7	0,4	0,36	35,1	34,7	34,1	33,2	31,3	25,5
8	0,4	0,24	29,3	27,8	25,5	21,5	13,4	-16,1
9	0,4	0,12	23,5	20,7	16,5	9,2	-7,4	

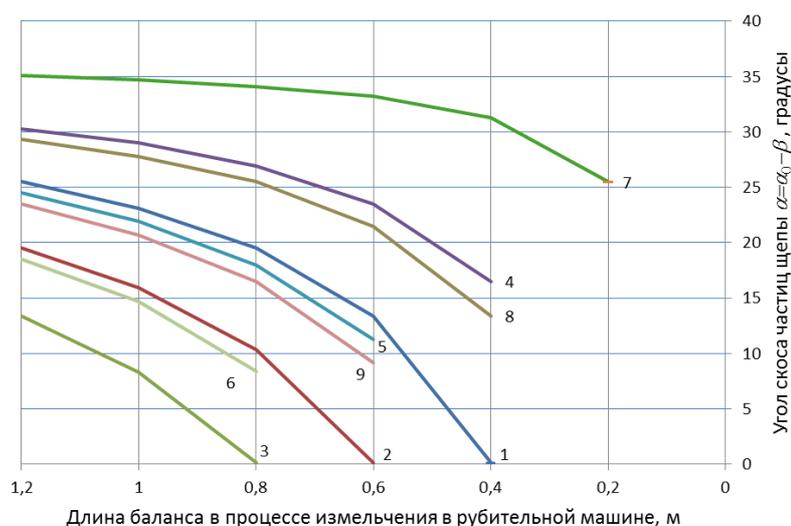


Рисунок 5 – Влияние длины баланса на угол скоса частиц щепы (номера линий 1–9 соответствуют номерам строк в таблице 4)

Обсуждение и оценка адекватности результатов моделирования.

Адекватность результатов расчетов (рисунок 5), прогнозирующих прогрессирующую тенденцию уменьшения угла скоса частиц щепы с уменьшением длины измельчаемого баланса, подтверждена экспериментально. В эксперименте по измельчению древесины в

рубительной машине были использованы балансы, торцы которых имели контрастную окраску по отношению к естественному цвету древесины в плоскости среза. По этой окраске были идентифицированы частицы щепы, полученных из торцовых частей короткомеров (рисунок 6).



Рисунок 6 – Частицы измельчённой древесины, полученные в рубительной машине из баланса с окрашенной до измельчения торцевой частью. В центре рисунка показана частица, полученная при измельчении торцевой части баланса

Измерения линейных и угловых размеров частиц щепы показали, что длина такой частицы равна примерно 7 см, что в 3,5 раза больше стандартной длины, равной 2 см. Угол скоса плоскости среза данной частицы составляет примерно 14° , что примерно в три раза меньше стандартной величины, равной 39° – 43° . Наличие крупных частиц в потоке технологической щепы приводит к так называемым непроварам при получении целлюлозы. Поэтому массовая доля таких частиц в технологической щепе не должна превышать 3 % согласно ГОСТ 15815-83.

Как отмечено выше, длина баланса в процессе его измельчения в рубительной машине уменьшается от стандартной величины 1,2 м до нескольких сантиметров. Например, измерение длины частицы с окрашенной торцевой частью, показанной в центре рисунке 6, позволяет предположить, что длина баланса в процессе его измельчения может

уменьшаться примерно до 7 см. Измельчение таких короткомеров реализуется в рубительной машине преимущественно скалыванием вдоль волокон, что ведет к появлению некондиционных частиц (рисунок 4).

Заключение. Анализ представленных выше результатов показал, что в целях повышения качества щепы и уменьшения количества отходов переработки древесины необходимо уменьшать долю короткомеров в потоке измельчаемых балансов [8, 9]. Оценка экономического эффекта приведена в [7]. Оптимизация α_0 требует отдельного рассмотрения с учетом β (2). Поскольку исключить появление отходов при переработке древесины технически невозможно, то необходимо совершенствование технологий рационального использования данных отходов [1–5, 12, 16].

Список литературы

1. Андреев А. А., Колесников Г. Н. О рациональном соотношении количества опилок и стружки в древесно-цементном композите//Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер.: «Естественные и технические науки». 2014. № 4 (141). С. 85-87. (<http://elibrary.ru/item.asp?id=21649786>)
2. Андреев А.А., Васильев С.Б., Колесников Г.Н., Сютёв В.С. Влияние новой полимерно-минеральной добавки на прочность древесно-цементного материала для малоэтажного строительства // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. № 2-2 (7-2). С. 292-296. DOI: 10.12737/3157 (<http://elibrary.ru/item.asp?id=21359401>)
3. Андреев А. А., Васильев С. Б., Колесников Г. Н., Сютёв В. С. Уточнения к статье «Влияние новой полимерно-минеральной добавки на прочность древесно-цементного материала для малоэтажного строительства» // Сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика». 2014. № 3-4 (8-4). С. 267-268. DOI: 10.12737/4386 (<http://elibrary.ru/item.asp?id=21744446>)
4. Андреев А.А., Колесников Г.Н. Совершенствование технологии использования отходов лесопильных предприятий в производстве древесно-цементных материалов для малоэтажного строительства // Фундаментальные исследования. 2014. № 6-6. С. 1139-1143. (<http://elibrary.ru/item.asp?id=21618774>)
5. Андреев А.А., Колесников Г.Н., Чалкин А.А. Древесно-цементный композит с добавкой стеатита как конструкционный и демпфирующий материал//Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки. 2014. № 6 (143). С. 75-78. (<http://elibrary.ru/item.asp?id=22370912>)
6. Вальщиков Н.М., Лицман Э.П. Рубительные машины: монография // М: Лесная промышленность. 1980. 96 с.
7. Васильев С.Б., Девятникова Л.А., Колесников Г.Н. Влияние изменения длины баланса, измельчаемого в дисковой рубительной машине, на размеры частиц древесной щепы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского

государственного аграрного университета. 2012. № 81. С. 270-279. (<http://elibrary.ru/item.asp?id=18038785>)

8. Васильев С. Б., Доспехова Н. А., Колесников Г. Н. Модуль рольганга с технологической функцией интенсификации выделения короткомеров из потока балансов // *Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты*. 2013. № 9. С. 145-149. (<http://elibrary.ru/item.asp?id=20891366>)

9. Васильев С.Б., Девятникова Л.А., Колесников Г.Н., Симонова И.В. Технологические решения для реализации потенциала ресурсосбережения при переработке круглых лесоматериалов на щепу//Петрозаводск, 2013. 92 с. (<http://elibrary.ru/item.asp?id=21756172>)

10. Колесников Г.Н. Дискретные модели механических и биомеханических систем с односторонними связями // *Петрозаводский государственный университет. - Петрозаводск*, 2004. (<http://elibrary.ru/item.asp?id=19489337>)

11. Колесников Г.Н., Раковская М.И. Энергетический критерий очередности перехода односторонних связей в действительное состояние // *Обозрение прикладной и промышленной математики*. 2006. Т. 13. С. 652.

12. Питухин А.В., Панов Н.Г., Колесников Г.Н., Васильев С.Б. Влияние добавки нанопорошка шунгита в клеевой раствор для изготовления трёхслойных древесностружечных плит на их физико-механические свойства // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 4. С. 147. (<http://elibrary.ru/item.asp?id=17882979>)

13. Пасаман Б.Ф., Гунько Ю.Л. Рациональні параметри дискових робочих органів рубальних машин // *Сільськогосподарські машини*. 2013. № 25. С. 101-105. (<http://elibrary.ru/item.asp?id=21245321>)

14. Facello, A., Cavallo, E., Magagnotti, N., Paletto, G., & Spinelli, R. (2013). The effect of chipper cut length on wood fuel processing performance. *Fuel Processing Technology*, 116, 228-233. DOI:10.1016/j.fuproc.2013.07.002

15. Lusth, H., Gradin, P., Hellström, L. (2013) A theoretical model for the prediction of energy consumption during the chipper canter process. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 28(2): 211-215. (<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:654808/FULLTEXT01.pdf>)

16. Wood-cement material for low-rise building: use of the additive waste soapstone processing for increased strength at uniaxial compression / Aleksandr Andreev, Gennady Kolesnikov, Andrey Chalkin, Maria Zaitseva // *Multidisciplinary Scientific Conferences SGEM 2014 (Section 15, Architecture and Design)*. Albena, Bulgaria (2-9 September, 2014).

References

1. Andreev A. A., Kolesnikov G. N. O racional'nom sootnoshenii kolichestva opilok i struzhki v drevesno-ce-mentnom kompozite//*Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta*. Ser.: Estestvennye i tehnicheckie nauki. 2014. № 4. S. 85-87.

2. Andreev A.A., Vasil'ev S.B., Kolesnikov G.N., Sjunjov V.S. Vlijanie novej polimerno-mineral'noj dobavki na prochnost' drevesno-cementnogo materiala dlja malojetazhnogo stroitel'stva // *Aktual'nye napravlenija nauchnyh issledovanij XXI veka: teorija i praktika*. 2014. № 2-2 (7-2). S. 292-296. DOI: 10.12737/3157

3. Andreev A. A., Vasil'ev S. B., Kolesnikov G. N., Sjunjov V. S. Utochnenija k stat'e «Vlijanie novej polimerno-mineral'noj dobavki na prochnost' drevesno-cementnogo materiala dlja malojetazhnogo stroitel'stva» // *Sbornik nauchnyh trudov po materialam mezhdunarodnoj zaochnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Aktual'nye napravlenija nauchnyh issledovanij XXI veka: teorija i praktika»*. 2014. № 3-4 (8-4). S. 267-268. DOI: 10.12737/4386

4. Andreev A.A., Kolesnikov G.N. Sovershenstvovanie tehnologii ispol'zovanija othodov lesopil'nyh predpriyatij v proizvodstve drevesno-cementnyh materialov dlja malojetazhnogo stroitel'stva // Fundamental'nye issledovanija. 2014. № 6-6. S. 1139-1143.
5. Andreev A.A., Kolesnikov G.N., Chalkin A.A. Drevesno-cementnyj kompozit s dobavkoj steatita kak konstrukcionnyj i dempfirujushhij material//Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Estestvennye i tehniczeskie nauki. 2014. № 6 (143). S. 75-78.
6. Val'shhikov N.M., Licman Je.P. Rubitel'nye mashiny: monografija // M: Lesnaja prmyshlennost'. 1980. 96 s.
7. Vasil'ev S.B., Devjatnikova L.A., Kolesnikov G.N. Vlijanie izmenenija dliny balansa, izmel'chaemogo v diskovoj rubitel'noj mashine, na razmery chastic drevesnoj shhepy // Politematicheskij setevoy jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2012. № 81. S. 270-279.
8. Vasil'ev S. B., Dospheva N. A., Kolesnikov G. N. Modul' rol'ganga s tehnologicheskoy funkciej intensivizacii vydelenija korotkomerov iz potoka balansov // Fundamental'nye i prikladnye issledovanija: problemy i rezul'taty. 2013. № 9. S. 145-149.
9. Vasil'ev S.B., Devjatnikova L.A., Kolesnikov G.N., Simonova I.V. Tehnologicheskie reshenija dlja realizacii potenciala resursosberezhenija pri pererabotke kruglyh lesomaterialov na shhepu//Petrozavodsk, 2013. 92 s.
10. Kolesnikov G.N. Diskretnye modeli mehanicheskikh i biomehanicheskikh sistem s odносторонnimi svjazjami // Petrozavodskij gosudarstvennyj universitet. -Petrozavodsk, 2004.
11. Kolesnikov G.N., Rakovskaja M.I. Jenergeticheskij kriterij ocherednosti perehoda odносторонnih svjazej v dejstvitel'noe sostojanie // Obozrenie prikladnoj i promyshlennoj matematiki. 2006. T. 13. S. 652.
12. Pituhin A.V., Panov N.G., Kolesnikov G.N., Vasil'ev S.B. Vlijanie dobavki nanoporoshka shungita v kleevoj rastvor dlja izgotovlenija trjohslojnyh drevesnostruzhechnykh plit na ih fiziko-mehanicheskie svojstva // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2012. № 4. S. 147.
13. Pasaman B.F., Gun'ko Ju.L Racional'ni parametri diskovih robochih organiv rubal'nih mashin // Sil'skogospodars'ki mashini. 2013. № 25. S. 101-105.
14. Facello, A., Cavallo, E., Magagnotti, N., Paletto, G., & Spinelli, R. (2013). The effect of chipper cut length on wood fuel processing performance. Fuel Processing Technology, 116, 228-233. DOI:10.1016/j.fuproc.2013.07.002
15. Lusth, H., Gradin, P., Hellström, L. (2013) A theoretical model for the prediction of energy consumption during the chipper canter process. Nordic Pulp & Paper Research Journal, 28(2): 211-215. (<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:654808/FULLTEXT01.pdf>)
16. Wood-cement material for low-rise building: use of the additive waste soapstone processing for increased strength at uniaxial compression / Aleksandr Andreev, Gennady Kolesnikov, Andrey Chalkin, Maria Zaitseva // Multidisciplinary Scientific Conferences SGEM 2014 (Section 15, Architecture and Design). Albena, Bulgaria (2-9 September, 2014).