

Обоснование конструктивных параметров узлов пильного аппарата установки для групповой раскряжевки

П.Б. Рябухин^{1а}, И.В. Григорьев^{2б}, А.Ю. Жук^{3с}

¹ Тихоокеанский государственный университет, ул. Тихоокеанская, 136, Хабаровск, Россия

² Арктический государственный агротехнологический университет, Сергеляхское шоссе, 3, Якутск, Республика Саха (Якутия)

³ Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

^а P.Ryabukhin@mail.khstu.ru, ^б silver73@inbox.ru, ^с lpf@brstu.ru

^а <https://orcid.org/0000-0003-1735-1942>, ^б <https://orcid.org/0000-0002-5574-1725>, ^с <https://orcid.org/0000-0002-1808-245X>

Статья поступила 25.01.2023, принята 03.02.2023

В настоящее время в Российской Федерации доминирующей является сортиментная технология лесозаготовительного производства с вывозкой из леса продукции в виде сортиментов. Несмотря на это, раскряжевка круглых лесоматериалов различной длины в значительных объемах реализуется на крупных лесопромышленных складах предприятий, занимающихся переработкой низкокачественной древесины для целлюлозно-бумажного производства. На этих предприятиях групповая раскряжевка может быть эффективна при раскряжевке на балансы. В статье приведен анализ научных исследований, посвященных изучению конструктивных параметров технологических узлов при проектировании установки для раскряжевки круглых лесоматериалов. Теоретические исследования выполнены на основе теории гибкой нити. Представленные теоретические исследования могут служить основой для дальнейших изысканий по расчету прочностных и геометрических параметров исследуемого режущего инструмента и его долговечности. Предложенная методика расчета позволяет осуществить выбор кинематической схемы пильного аппарата и произвести расчет диаметра приводного шкива и угла его обхвата режущим инструментом для обеспечения постоянства площади контакта в тяговой системе пильного аппарата, повышения плавности его работы и, соответственно, снижения возникающих динамических нагрузок и повышения работоспособности установки.

Ключевые слова: раскряжевка; пильный аппарат; тяговая система; приводной шкив; гибкая нить; пачка круглых лесоматериалов; динамические нагрузки.

Justification of the design parameters of the nodes of the saw machine of the installation for group bucking

P.B. Ryabukhin^{1а}, I.V. Grigorjev^{2б}, A.Yu. Zhuk^{3с}

¹ Pacific National University; 136, Tikhookeanskaya St., Khabarovsk, Russia

² Arctic State Agrotechnological University; 3 km, Sergelyakhskoe Shosse, Yakutsk, Republic of Sakha

³ Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

^а P.Ryabukhin@mail.khstu.ru, ^б silver73@inbox.ru, ^с lpf@brstu.ru

^а <https://orcid.org/0000-0003-1735-1942>, ^б <https://orcid.org/0000-0002-5574-1725>, ^с <https://orcid.org/0000-0002-1808-245X>

Received 25.01.2023, accepted 03.02.2023

Currently, in the Russian Federation, the dominant technology of logging production is cut-to-length technology with the removal of products from the forest in the form of assortments. Despite this, bucking of round timber of various lengths is carried out in large volumes at large timber warehouses of enterprises engaged in the processing of low-quality wood for pulp and paper production. At these enterprises, group bucking can be effective in cutting longitude into balance sheets. The article provides an analysis of scientific research devoted to the study of the design parameters of technological units in the design of a plant for cross-cutting round timber. Theoretical studies are carried out on the basis of the "flexible thread theory". The presented theoretical studies can serve as a basis for further research on the calculation of the strength and geometric parameters of the studied cutting tool and its durability. The proposed calculation method makes it possible to select the kinematic scheme of the saw unit and calculate the diameter of the drive pulley and the angle of its wrapping with the cutting tool to ensure the constant contact area in the traction system of the saw unit, increase the smoothness of its operation, and, accordingly, reduce the resulting dynamic loads and increase the operability of the installation.

Keywords: bucking; sawing machine; traction system; drive pulley; flexible thread; bundle of round timber; dynamic loads.

Введение. В Концепции инвестиционного проекта «Создание и модернизация объектов лесной и лесоперерабатывающей инфраструктуры на базе компании ООО «Эколес» на 2019–2023 годы» предложены мероприятия по развитию заготовки и глубокой переработки древесных ресурсов ДФО [1]. Особый акцент в Концепции

сделан на необходимость разработки технологий и конструкций соответствующего оборудования для повышения эффективности использования низкотоварной древесины и отходов переработки леса в качестве сырья при производстве целлюлозно-бумажной продукции.

Создание производственных мощностей по химико-механической переработке древесины в местах концентрации лесозаготовительных предприятий региона позволит не только решить задачу комплексного использования низкотоварной древесины и древесных отходов, но и снизить риски по возникновению лесных пожаров [2–7].

В рамках поставленных задач авторами проведены теоретические исследования по разработке технологических процессов и конструкций технологического оборудования для лесопромышленного комплекса. Полученные результаты открывают возможности увеличения степени использования заготавливаемой древесины и создают предпосылки для восстановления производства отечественного оборудования для первичной переработки древесины. Предложенная конструкция установки для пачковой раскряжевki круглых лесоматериалов с гибким режущим органом является базовым элементом в системе машин для реализации технологии «единого технологического пакета» [8–10].

Основным конструктивным узлом любой раскряжевочной установки является ее пильный аппарат, от эффективности работы которого зависит производительность установки в целом. В качестве режущего устройства в конструкциях современных раскряжевочных установок для поштучной обработки лесоматериалов нашли применение пильные цепи и круглые (дисковые) пилы. Данные режущие инструменты обладают сравнительно небольшими размерами, простотой конструкции, возможностью перерезать дерево большого диаметра, легкостью заточки и небольшой стоимостью [11].

Для групповой (пачковой) раскряжевki требуются специальные режущие органы, обеспечивающие возможность распиловки одновременно большого количества круглых лесоматериалов и, соответственно, большую длину пропила в процессе резания древесины.

Так, в США было создано несколько моделей таких установок, производящих распиловку хлыстов преимущественно на балансы [12; 13]. Наиболее широко используются установки с П-образной пильной рамкой. В одной из таких установок («Карри кост катер») в качестве режущего инструмента используется пильная цепь «Орегон», длина режущей части которой 2,5 м.

Существенным недостатком пильных цепей при использовании в качестве режущего инструмента при выполнении как индивидуальной, так и групповой (пачковой) раскряжевki лесоматериалов, является то, что они зажимаются в пропиле по разным причинам, связанным с различными технологическими и конструктивными обстоятельствами (смещение стенок пропила, смещение отдельных элементов пачки лесоматериалов в процессе резания и т. д.). Это приводит к потере до 25 % производительности установки [14].

В качестве альтернативной конструкции режущего органа в работе [11] было предложено использование режущего органа механического типа, самообеспечи-

вающего своей конструкцией поперечную распиловку круглых лесоматериалов без его зажима в пропиле (как отдельного круглого лесоматериала, так и в сформированной пачке лесоматериалов).

Конструкция установки для групповой (пачковой) раскряжевki, принципиальная схема которой представлена на рис. 1, и принцип ее работы представлены в работе [8].

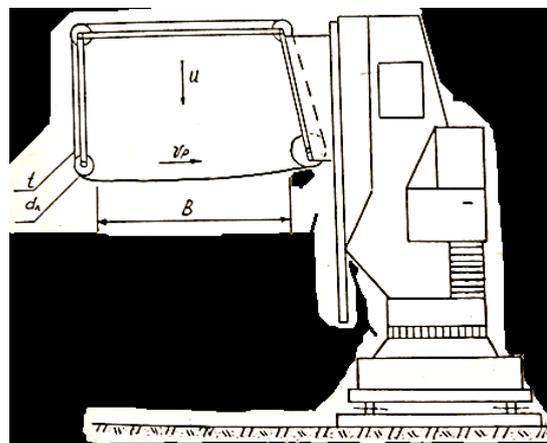


Рис. 1. Схема установки для групповой раскряжевki круглых лесоматериалов

Методы и результаты исследования. Выбор кинематической схемы пильного аппарата. При анализе возможных кинематических схем пильного аппарата (рис. 2) необходимо произвести их сравнение по различным аспектам — технологической целесообразности, материалоемкости, к.п.д. и др.

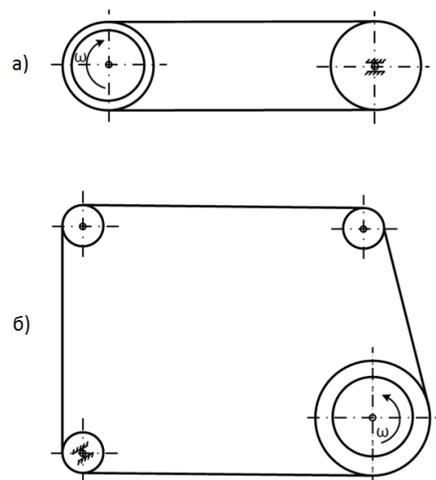


Рис. 2. Схемы пильного аппарата

Говоря о технологической применимости того или иного варианта, будем исходить из величины площади поперечного сечения приемного устройства, ширина которого находится в пределах 2–3 м. Тогда высота H его должна иметь примерно те же размеры (при обработке пачки объемом 20–25 м³). При такой высоте приемного устройства (пачки) наиболее эффективной, естественно, является схема по варианту II (рис. 2, б), поскольку она позволяет производить пиление пачки практически любой высоты, в то время как реализация распиловки по варианту I (рис. 2, а) потребует созда-

ния крупногабаритных приводных шкивов ($D_{ш} > H$). Использование шкивов большого диаметра, помимо усложнения механизма надвигания пильного аппарата на приемное устройство, приведет и к значительным динамическим нагрузкам на установку из-за высокоамплитудных колебаний вращающихся масс.

При определении к.п.д. тяговых систем [15; 16] по зависимости (1) установлено, что значение коэффициента полезного действия системы по варианту I выше, чем по варианту II:

$$\eta_{с и с т} = \frac{1}{1 + \frac{1}{E F_{р.о}} \sum_{i=0}^n P_i^{с б} \cdot K_i}, \quad (1)$$

где E — модуль упругости стального каната; $F_{р.о}$ — площадь сечения режущего органа; $P_{п р и в}^{с б}$ — усилие в сбегавшей ветви приводного шкива,

$$P_{п р и в}^{с б} = \frac{T_0}{e^{\mu \alpha}};$$

$P_i^{с б}$ — усилие в сбегавшей ветви i -го шкива; $\alpha_{п р}$ — угол обхвата приводного шкива; μ — коэффициент трения;

Таблица 1. Параметры для определения коэффициента полезного действия тяговой системы

	Единицы измерения	Вариант I	Вариант II
E	$\frac{М Н}{М^2}$	110	110
$F_{р.о}$	$М^2$	$240,41 \cdot 10^{-6}$	$240,41 \cdot 10^{-6}$
$d_{п р.}$	рад	3,14	1,765
$P_{п р и в}^{с б}$	Н	395,2	1246,6
$P_{х о л}^{с б}$	Н	$T_0 = P_p = 3656,9$	1. 3656,9
μ		0,8	0,8
$\varphi l_{х о л} (i)$	Рад	3,14	1. 1,57
$R_{п р}$	М	0,10	0,18
R_i	м	0,10	$R_1 = R_2 = R_3 = r_k 30 = 0,08$ м
r_i	м	0,16	$r_1 = r_2 = r_3 = 0,013$
f		0,5	$f_1 = f_1 = f_3 = 0,05$

Расчет диаметра приводного шкива и угла его обхвата режущим инструментом. При определении данных параметров пильного аппарата с учетом выбранной кинематической схемы воспользуемся зависимостью для футерованных канатоведущих шкивов [15–17]:

$$D_{п р}^{ш} = \frac{2P_{т я г.}}{r_k \cdot \Psi \cdot \alpha_{п р} \sqrt{2G_{д о п} - \frac{\Psi^2 \cdot \alpha^2}{48}}}, \quad (2)$$

где $D_{п р}^{ш}$ — диаметр приводного шкива; $P_{т я г.}$ — тяговое усилие, создаваемое приводом; r_k — радиус каната; Ψ — константа трения; $\alpha_{п р}$ — угол обхвата; $G_{д о п}$ — допустимое давление каната на футеровку.

Применительно к условиям раскряжевой установки допустим, что $r_k = R_{л}$, где $R_{л}$ — радиус лезвия режущего органа.

Угол обхвата приводного шкива определим по схеме, показанной на рис. 3, причем $\alpha_{п р} = \alpha_o + \alpha'$, где

$$K_i = e^{-\frac{\mu(l_i - l_{п р})}{2}} \left\{ 1 - e^{-\frac{\mu(l_i - l_{oi})}{2}} + e^{-\frac{\mu(l_i + l_{oi})}{2}} * (e^{\mu l_i} - e^{-\frac{\mu(l_i - l_{oi})}{2}}) \right\},$$

где α_i — угол обхвата i -го шкива,

$$\alpha_{oi} = \frac{1}{\mu} \ln \frac{R_i + f_i * r_i * \sin \frac{\alpha_i}{2}}{R_i - f_i * r_i * \sin \frac{\alpha_i}{2}}$$

где R_i — радиус i -го шкива; f_i — коэффициент трения в оси i -го шкива; r_i — радиус оси i -го шкива.

Для определения $\eta_{с и с т}$ по имеющимся зависимостям была составлена компьютерная программа, в результате разрешения которой получены следующие значения: $\eta_I = 0,88$; $\eta_{II} = 0,72$. Значения исходных параметров приведены в табл. 1.

Таким образом, исходя из приведенного анализа, можно сделать вывод о целесообразности применения схемы пильного аппарата по варианту II, несмотря на более низкое значение его к.п.д., поскольку данная схема выигрывает в технологичности и в чисто конструктивном плане (меньшие габаритные размеры, простота механизма надвигания и др.).

$\alpha_o = \frac{\pi}{2}$. Точки A и B — точки касания режущего органа соответствующих шкивов. Рассмотрим два прямоугольных треугольника ABC и $A'B'C'$. Эти треугольники подобны, поскольку имеют по равному углу $\beta = \beta'$, которые образованы параллельными отрезками $AB \parallel A'B'$.

Из подобия треугольников следует:

$$\angle ACB = \angle A'B'C' = 90^\circ - \beta', \quad (3)$$

тогда, с учетом того, что $\alpha' = 90^\circ - \angle ACB$, получим:

$$\alpha' = \beta' = \arctg \frac{D_{п р}^{ш} - D_x^{ш}}{A'}. \quad (4)$$

Для нахождения параметров $D_{п р}^{ш}$ и $\alpha_{п р}$ составим систему из выражений (3) и (4) и разрешим ее относительно $D_{п р}^{ш}$.

В результате получим конечное выражение в виде:

$$D_{\text{пр}}^{\text{ш}} \frac{2 \cdot P_{\text{тяг.}}}{r_{\text{л}} \cdot \Psi \left(1,57 + \arctg \frac{D_{\text{пр}}^{\text{ш}} + D_{\text{х}}^{\text{ш}}}{H - \left(\frac{D_{\text{пр}}^{\text{ш}} + D_{\text{х}}^{\text{ш}}}{2} \right) - 2\Delta} \right) \sqrt{2G_{\text{доп}} \frac{\Psi^2 \left(1,57 + \arctg \frac{D_{\text{пр}}^{\text{ш}} + D_{\text{х}}^{\text{ш}}}{H - \left(\frac{D_{\text{пр}}^{\text{ш}} + D_{\text{х}}^{\text{ш}}}{2} \right) - 2\Delta} \right)^2}{48}}}} \quad (5)$$

Решение данной зависимости осуществлялось параллельно с решением задачи оптимизации по программе «Optim». Полученное значение $D_{\text{пр}}^{\text{ш}}$ соответствует оптимальному параметру установки, $D_{\text{пр}}^{\text{ш}} = 0,36 \text{ м}$.

Тогда угол обхвата приводного шкива определится по формуле (3), $\alpha_{\text{пр}} = 90^\circ 43$, при $D_{\text{х}}^{\text{ш}} = 30d_k = 0,16 \text{ м}$.

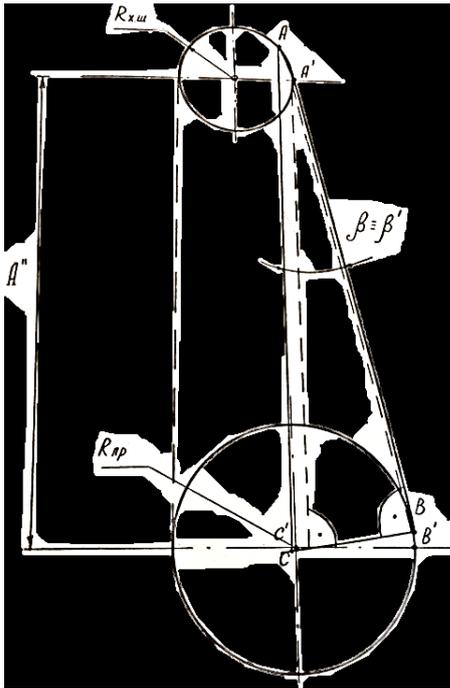


Рис. 3. Схема для определения угла обхвата приводного шкива

Выбор формы сечения пачки круглых лесоматериалов. Теоретическим исследованиям параметров приемного устройства установки для групповой раскрывки хлыстов посвящен ряд работ С.К. Теслюка и

Л.Е. Михеева [18; 19]. В своей диссертационной работе [18] С.К. Теслюк предлагает приемное устройство в виде платформы с жесткими вертикальными стойками, между каждой парой которых натянута гибкая нить — трос или цепь (рис. 4), что обеспечивает уменьшение количества зажимов пильного аппарата в пропилах.

При такой конфигурации поперечного сечения происходит прогиб пачки, который благоприятствует процессу продвижения пильного аппарата вниз по высоте пачки. Тем не менее, такое сечение не позволяет полностью использовать всю полезную площадь приемного увеличения изгиба и требует введения дополнительных элементов для увеличения изгиба пачки по длине, что приводит к усложнению конструкции.

Использование для раскрывки пачек хлыстов гибкого режущего органа обеспечивает проведение беззажимного пиления при любой форме поперечного сечения пачки, что дает возможность максимально использовать полезную площадь приемного устройства и упростить его конструкцию. Кроме того, при сечении в форме, близкой к эллипсу (ЛО-62), по мере продвижения режущего органа по ее высоте изменяется длина дна пропила, вследствие чего появляется необходимость регулировки скорости подачи в процессе реза. Прямоугольное же сечение обеспечивает постоянство длины для пропила, что дает возможность производить распиловку пачки хлыстов с постоянной скоростью подачи. При этом необходимо рассмотреть и вопрос о конфигурации верхнего ряда хлыстов в пачке, поскольку от начального момента процесса пиления зависит его дальнейшее протекание. Наличие в пильном аппарате гибкого режущего органа предопределяет некоторую степень его провисания, которая характеризуется стрелой прогиба y' .

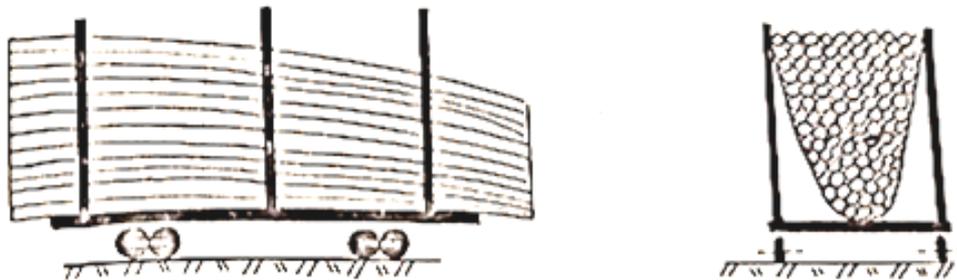


Рис. 4. Пачка круглых лесоматериалов, уложенная в приемное устройство с продольным изгибом

Вопросам изучения поведения гибкой замкнутой нити посвящены работы советских и зарубежных ученых [20–23]. По методике А.В. Светлицкого [23] величина стрелы прогиба зависит от предварительного натяжения и выражается в следующем виде:

$$y' = \frac{q \cdot l_r^2}{8P_M}$$

где q — вес 1 м режущего органа; l_r — межосевое расстояние горизонтальных шкивов; P_M — монтажное натяжение.

В момент соприкосновения режущего органа с древесиной происходит резкое натяжение несущего каната в виде некоторого импульса ударной нагрузки (рывка). Эти рывки приводят к дополнительным колебаниям

режущего органа, что, в свою очередь, нарушает устойчивость процесса работы всей установки в целом.

Используя теоретические разработки В.С. Щедрова [24], касающиеся изучения характера нагружения гибкой нити под действием тангенциального рывка, можно записать:

$$\bar{T}_d = \bar{P}_p^A * \frac{1 + (\gamma + \varphi) * tg \gamma}{(1 + (\gamma + \beta) * tg \gamma) * Cos \varphi} * Cos \beta, \quad (6)$$

где \bar{T}_d — импульс натяжения от действия импульса усилия резания \bar{P}_p^A , возникающего в точке касания режущего органа с древесиной; β — угол между направлением импульса усилия резания и горизонталью; γ — угол между касательной к точке набегания режущего органа на приводной шкив; φ — угловая координата провисающего режущего органа.

На рис. 5 приведена схема для теоретических расчетов. Допуская, что углы γ и φ , а также импульс усилия резания являются величинами постоянными для каждого момента начала резания, можно сделать вывод, что увеличение угла β приводит к уменьшению значения импульса натяжения. Таким образом, чем дальше от нижней точки провисающего режущего органа будет находиться точка его встречи с древесиной, тем меньше ударные нагрузки будут воздействовать на канат. А это, в свою очередь, увеличит долговечность режущего органа и снизит характеристики колебательного процесса, возникающего при пилении в системе «установка – пачка».

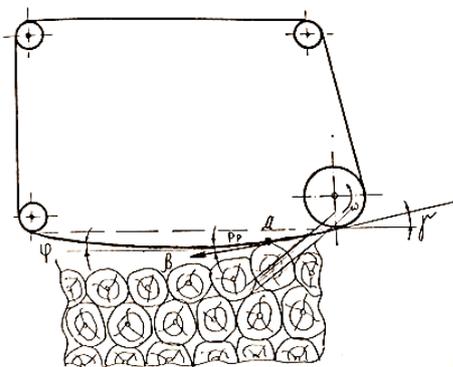


Рис. 5. Схема для определения импульса натяжения несущего каната режущего органа в момент соприкосновения с древесиной

Следовательно, наиболее благоприятной конструкцией верхнего ряда пачки является та, которая обеспечивает встречу режущего органа с древесиной не в

точке наибольшего его провисания, а как можно дальше от нее (рис. 6).

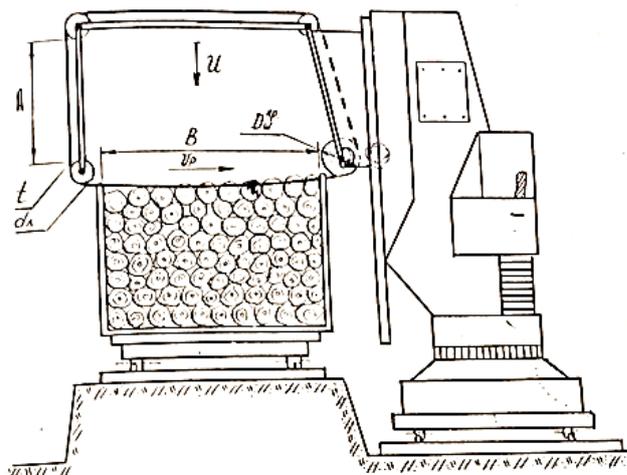


Рис. 6. Схема установки для пачковой раскряжевки с приемным устройством

В связи с этим наиболее рациональной формой сечения пачки является трапеция. Для уплотнения пачки и уменьшения перемещений круглых лесоматериалов во время распиловки необходимо производить ее обжатие посредством канатно-блочной системы с гидроприводом.

Заключение

1. Выполненный математический анализ коэффициента полезного действия схемы пильного аппарата с учетом целесообразности снижения габаритных размеров пильного аппарата установки и упрощения механизма надвигания позволил сделать выбор конструкции пильного аппарата с П-образной рамкой и размещением на ней одного приводного (рабочего) шкива и трех направляющих (холостых) шкивов.

2. Исходя из принятой схемы пильного аппарата с использованием теории замкнутой гибкой нити определены диаметр приводного шкива и угол его обхвата гибким режущим органом, обеспечивающим создание максимального контакта режущего инструмента с рабочим шкивом и, соответственно, максимального тягового усилия передачи.

С использованием критерия минимизации динамических нагрузок на режущий инструмент в виде гибкого режущего органа обоснована рациональная форма сечения пачки распиливаемых лесоматериалов в виде трапеции.

Литература

1. Создание и модернизация объектов лесной и лесоперерабатывающей инфраструктуры ООО Компании «ЭКОЛЕС» на 2019-2023 годы // Концепция инвестиционного проекта. «Дальневосточный инновационно-технологический центр» (г. Хабаровск). Хабаровск, 2018. 103 с.
2. Sheingauz A., Antonova N., Glovatskaya O., Sukhomirov G., Bardal A., Kakizawa Hiroaki. Comprehensive guidelines for local population participation in forest management in the southern part of Khabarovskiy kraj // Guidelines and recommendations for participatory, sustainable forest use and man

agement / Editor Makoto Inoue. Kanagawa (Japan): Institute for Global Environmental Strategies, 2015. P. 61-89.

3. Основные направления развития отрасли: правительство Хабаровского края. Лесной комплекс. URL: <http://www.pg-online.ru/shipping> (дата обращения: 20.03.2021).
4. Conservation action plan for the Russian Far East ecoregion complex: In 2 parts. Vladivostok; Khabarovsk; Blagoveshchensk; Birobidzhan: WWF, Far Eastern Branch, 2018.
5. Developing a forest conservation strategy for the Russian Far East: The research interim report for the second year study // Russia country report 2012/2013 / Ed. Kakizawa, Hiroaki. Hayama (Japan): Institute for Global Environmental Strategies, 2014. P. 1-44.

6. Рябухин П.Б. Технологии и системы машин для обеспечения комплексного использования древесины // Философия современного природопользования в бассейне реки Амур: материалы X науч.-практической конф. с междунар. участием (27 апр. 2021 г.). Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2021. Вып. 10. С. 5-10.
7. Куницкая О.А., Тихонов И.И., Куницкая Д.Е., Григорьев И.В., Земцовский А.Е. Оптимизация процесса раскряжевки хлыстов на лесоперевалочных базах лесных холдингов при выпилке сырья для мацтопропиточных заводов // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2014. № 3 (339). С. 86-93.
8. Рябухин П.Б., Абузов А.В. Метод параметрического синтеза установки для пачковой раскряжевки круглых лесоматериалов // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 2. С. 126-133.
9. Рябухин П.Б., Казаков Н.В., Луценко Е.В. Алгоритм решения задачи по комплексной оценке технологических процессов лесопромышленных предприятий // Вестн. КрасГАУ. 2018. № 1. С. 26-33.
10. Рябухин П.Б., Григорьев И.В. Определение натяжения несущего каната гибкого режущего органа в процессе работы установки для пачковой раскряжевки // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 4. С. 63-73.
11. Козин Г.Л. Разработка и исследование режущего органа для беззажимной раскряжевки пачек хлыстов: дис. ... канд. техн. наук. Л., 1982. 188 с.
12. Forest Industries, (USA). 2018. № 11. P. 58-63.
13. Forest Industries, (USA). 2019. № 4. P. 64-69.
14. Вороницын К.И., Красильников Б.Н., Гулько Л.И., Першанов Н.А. Групповая раскряжевка рудостоечного долготы цепными установками // Лесная пром-сть. 1999. № 1. С. 12-15.
15. Андреев А.В. Передача трением. М.: Машиностроение, 2008. 176 с.
16. Андреев А.В. Физические основы передачи сдвигаемой силы контактами трения. М.: Машиностроение, 1998. 76 с.
17. Рыбин И.С. Исследование канатных транспортеров для сортировки круглых лесоматериалов: дис. ... канд. техн. наук. Л., 1998. 206 с.
18. Теслюк С.К. Исследование процесса пачковой раскряжевки хлыстов: дис. ... канд. техн. наук. Химки, 1996. 205 с.
19. Михеев Л.Е. Исследование основных характеристик и режимов пиления при пачковой разделке древесины: дис. ... канд. техн. наук. Химки, 1998. 194 с.
20. David J. Bents. Axial Force and Efficiency Tests of Fixed Center Variable Speed Belt Drive. SAE Transactions. 1981. № 810103P. 438-450.
21. Amijima S. Some problems associated with the friction between belt and pulley. Doshisha Univ. Sci. Engng. Rev. 3 (1962) 3-4. P. 9.
22. Минаков А.П. Основы механики нити // Труды Моск. текст. ин-та. 1991. Вып. 1. С. 101-109.
23. Светлицкий В.А. Механика гибкой нити. М.: Машиностроение, 2003. 218 с.
24. Щедров В.С. Основы механики гибкой нити. М.: Mashgiz, 1981. 171 с.
25. Recommendations for participatory, sustainable forest use and management / Editor Makoto Inoue. Kanagawa (Japan): Institute for Global Environmental Strategies, 2015. P. 61-89.
26. The main directions of development of the industry: Government of the Khabarovsk Territory. Forest complex. URL: <http://www.pg-online.ru/shipping> (data obrashcheniya: 20.03.2021).
27. Conservation action plan for the Russian Far East ecoregion complex: In 2 parts. Vladivostok; Khabarovsk; Blagoveshchensk; Birobidzhan: WWF, Far Eastern Branch, 2018.
28. Developing a forest conservation strategy for the Russian Far East: The research interim report for the second year study // Russia country report 2012/2013 / Ed. Kakizawa, Hiroaki. Hayama (Japan): Institute for Global Environmental Strategies, 2014. P. 1-44.
29. Ryabukhin P.B. Technologies and systems of machines for ensuring the complex use of wood // Filosofiya sovremennogo prirodopol'zovaniya v bassejne reki Amur: materialy X nauch.-prakticheskoy konf. s mezhdunar. uchastiem (27 apr. 2021 g.). Habarovsk: Izd-vo Tihookean. gos. un-ta, 2021. Vyp. 10. P. 5-10.
30. Kunickaya O.A., Tihonov I.I., Kunickaya D.E., Grigor'ev I.V., Zemcovskij A.E. Optimization of the process of cross-cutting of tree-lengths at the timber transshipment bases of forest holdings when sawing out raw materials for mast impregnation plants. // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2014. № 3 (339). P. 86-93.
31. Ryabukhin P.B., Abuzov A.V. Method of parametric synthesis of installation for stacked cross-cutting of round timber // Systems. Methods. Technologies. 2021. № 2. P. 126-133.
32. Ryabukhin P.B., Kazakov N.V., Lucenko E.V. Algorithm for solving the problem of complex assessment of technological processes of timber industry enterprises // The Bulletin of KrasGAU. 2018. № 1. P. 26-33.
33. Ryabukhin P.B., Grigor'ev I.V. Determination of the tension of the carrier rope of a flexible cutting body during the operation of a stack crosscutting machine // Systems. Methods. Technologies. 2021. № 4. P. 63-73.
34. Kozinov G.L. Development and research of a cutting body for clampless bucking of bundles of whips: dis. ... kand. tekhn. nauk. L., 1982. 188 p.
35. Forest Industries, (USA). 2018. № 11. P. 58-63.
36. Forest Industries, (USA). 2019. № 4. P. 64-69.
37. Voronicyn K.I., Krasil'nikov B.N., Gul'ko L.I., Pershanov N.A. Group bucking of ore-stand longitude with chain installations // Lesnaya prom-st'. 1999. № 1. P. 12-15.
38. Andreev A.V. Transmission by friction. M.: Mashinostroenie, 2008. 176 p.
39. Andreev A.V. Physical bases of transmission of shear force by friction contacts. M.: Mashinostroenie, 1998. 76 p.
40. Rybin I.S. The study of rope conveyors for sorting round timber.: dis. ... kand. tekhn. nauk. L., 1998. 206 p.
41. Teslyuk S.K. Study of the process of bunch bucking of whips: dis. ... kand. tekhn. nauk. Himki, 1996. 205 p.
42. Miheev L.E. Investigation of the main characteristics and modes of sawing when cutting wood in bundles. Issledovanie osnovnykh harakteristik i rezhimov pileniya pri pachkovoj razdelke drevesiny: dis. ... kand. tekhn. nauk. Himki, 1998. 194 p.
43. David J. Bents. Axial Force and Efficiency Tests of Fixed Center Variable Speed Belt Drive. SAE Transactions. 1981. № 810103. P. 438-450.
44. Amijima S. Some problems associated with the friction between belt and pulley. Doshisha Univ. Sci. Engng. Rev. 3 (1962) 3-4. P. 9.
45. Minakov A.P. Fundamentals of thread mechanics // Trudy Mosk. tekst. in-ta. 1991. Vyp. 1. P. 101-109.
46. Svetlickij V.A. Mechanics of a flexible thread. M.: Mashinostroenie, 2003. 218 p.
47. SHChedrov V.S. Fundamentals of the mechanics of a flexible thread. M.: Mashgiz, 1981. 171 p.

References

1. Creation and modernization of forestry and timber processing infrastructure facilities of EKOLES Company LLC for 2019-2023 // Konceptsiya investicionnogo proekta. «Dal'nevostochnyj innovacionno-tekhnologicheskij centr» (g. Habarovsk). Habarovsk, 2018. 103 p.
2. Sheingauz A., Antonova N., Glovatskaya O., Sukhomirov G., Bardal A., Kakizawa Hiroaki. Comprehensive guidelines for local population participation in forest management in the southern part of Khabarovskiy kraj // Guidelines and recom-