

Метод параметрического синтеза установки для пачковой раскряжевки круглых лесоматериалов

П.Б. Рябухин^a, А.В. Абузов^b

Тихоокеанский государственный университет, Тихоокеанская, 136, Хабаровск, Россия

^a PRyabukhin@mail.khstu.ru, ^b ac-systems@mail.ru

^a <https://orcid.org/0000-0003-1735-1942>, ^b <https://orcid.org/0000-0003-1082-9392>

Статья поступила 01.04.2021, принята 24.04.2021

В статье приведены результаты анализа ситуации, складывающейся в Дальневосточном федеральном округе с состоянием лесных ресурсов, служащих сырьем для производства различного вида продукции. Отмечено, что в самом ближайшем будущем лесозаготовительная отрасль дальневосточного региона будет испытывать острый недостаток в эксплуатационных лесных площадях, соответствующих не только возрасту рубки, но и классу товарности заготавливаемой древесины. Констатируется, что используемые технологии лесозаготовок и состояние рынка не обеспечивают реализацию концепции по развитию комплексной переработки всей древесины, отведенной в рубку. Авторами предложена некогда используемая технология на базе современного специализированного оборудования, обеспечивающая рациональное использование древесных ресурсов, экономии материальных и финансовых затрат, сохранение окружающей среды с учетом полного исполнения принципов устойчивого лесопользования. Дан перечень технологического оборудования и технология его использования для реализации задач, утвержденных современной концепцией использования древесных ресурсов. В статье уделено особое внимание вопросу выбора способа расчетов оптимальных значений конструктивных и кинематических (технологических) параметров установки для пачковой (групповой) раскряжевки круглых лесоматериалов. В качестве критерия оптимальности предложен обобщенный (комплексный) показатель эффективности оборудования (установки для пачковой раскряжевки круглых лесоматериалов), учитывающий условия максимальной производительности при минимальных затратах мощности на реализацию процесса пиления с учетом показателя максимальной надежности режущего инструмента по условию прочности при минимальной его материалоемкости. В работе представлены предварительные теоретические изыскания, которые послужат основой для дальнейших исследований по математическому описанию параметров оптимизации, составлению алгоритма решения задачи параметрического синтеза установки для пачковой раскряжевки и реализацию данного алгоритма в виде программного продукта.

Ключевые слова: древесина, комплексное использование, круглые лесоматериалы, балансовое долготье, установка, пачковая раскряжевка, математическая модель, оптимальные параметры.

Method of parametric installation synthesis for pack bucking of round timber

P.B. Ryabukhin^a, A.V. Abuzov^b

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

^a PRyabukhin@mail.khstu.ru, ^b ac-systems@mail.ru

^a PRyabukhin@mail.khstu.ru, ^b ac-systems@mail.ru

^a <https://orcid.org/0000-0003-1735-1942>, ^b <https://orcid.org/0000-0003-1082-9392>

Received 1.04.2021, accepted 24.04.2021

The article presents the results of the analysis of the situation in the Far Eastern Federal District with the state of forest resources that serve as raw materials for the production of various types of products. It is noted that in the very near future, the logging industry of the Far Eastern region will experience an acute shortage of operational forest areas that correspond not only to the age of logging, but also to the class of marketability of the harvested wood. It is stated that the logging technologies used and the state of the market do not support the implementation of the concept for the development of integrated processing of all wood allocated for logging. A once-used technology based on modern specialized equipment is proposed that ensures the rational use of wood resources, saves material and financial costs, and preserves the environment, taking into account the full implementation of the principles of sustainable forest management. The list of technological equipment and the technology of its use for the implementation of tasks approved by the modern concept of the use of wood resources is given. The article pays special attention to the problem of choosing the method of calculating the optimal values of the structural and kinematic (technological) parameters of the installation for the batch (group) grating of round timber. As an optimality criterion, a generalized (complex) indicator of the efficiency of equipment (installations for bundle bucking of round timber) is proposed, which takes into account the conditions of maximum productivity with minimal power consumption for the implementation of the sawing process, taking into account the indicator of maximum reliability of the cutting tool according to the strength condition with its minimum material consumption. The paper presents preliminary theoretical studies that will serve as the basis for further research on the mathematical description of optimization parameters, the development of an algorithm for solving the problem of parametric synthesis of the installation for bundle bucking and the implementation of this algorithm in the form of a software product.

Keywords: wood, integrated use, round timber, balance longitude, installation, bundle bucking, mathematical model, optimal parameters.

Введение. Правительством Хабаровского края разработаны основные направления развития лесного комплекса, в которых обращается внимание на бесперспективность сегодняшней ориентации лесного комплекса на торговлю круглым лесом и на нерациональное использование лесных ресурсов, когда значительное количество низкотоварной древесины и отходов (НТДО) остаётся в лесу. Перед лесопромышленниками поставлена задача по увеличению объёмов производства пиленых лесоматериалов и развитию комплексной переработки древесины [1]. В предложенной Концепции инвестиционного проекта «Создание и модернизация объектов лесной и лесоперерабатывающей инфраструктуры на базе компании ООО «ЭКОЛЕС» на 2019–2023 годы» представлены материалы по развитию производства заготовки леса и его углубленной переработке, включая использование низкотоварной древесины и отходов переработки леса в качестве сырья целлюлозного производства.

Одним из основных направлений Концепции представлены мероприятия по увеличению масштабов заготовки ликвидной и нетоварной древесины, необходимой и достаточной по объёмам для организации дополнительных производств, рентабельных при переработке деловой древесины и НТДО с учетом принципов устойчивого лесопользования и лесоуправления [2, 3, 4]. Несмотря на высокое разнообразие лесного фонда, многопородность, огромные запасы и большую площадь покрытых лесом земель, в эксплуатационном плане леса ДФО имеют в целом невысокую производительность с преобладанием в насаждениях IV, V, Va и ниже классов бонитета, а в целом же для нормальной эксплуатации лесосечный фонд в ДФО не превышает 40 % лесопокрытых земель, более того, 25 % лесных территорий составляют леса с полнотой 0,4 и ниже, а 15 % насаждений региона растут на склонах крутизной более 30 град. Размещение лесного фонда по территории крайне неравномерно [5, 6].

На основании проведенного анализа лесного фонда Дальневосточного федерального округа можно констатировать, что в самом ближайшем будущем лесозаготовительная отрасль дальневосточного региона будет испытывать острый недостаток в эксплуатационных лесных площадях, соответствующих не только возрасту рубки, но и классу товарности заготавливаемой древесины. В связи с вышесказанным, а также с ухудшением качества и объема древесностов и возрастающими экологическими требованиями актуальной становится разработка современных технологий и специализированного оборудования, обеспечивающих рациональное использование лесных ресурсов, экономию материальных и финансовых затрат, сохранение окружающей среды с учетом полного исполнения принципов устойчивого лесопользования [7, 8].

Объект исследования. Прогрессирующее истощение и ухудшение качества древесных ресурсов, снижение их природоохранного и экологического потенциала требуют незамедлительного изменения стратегии лесопользования, перехода на ресурсосберегающие технологии лесозаготовок и переработки сырья.

Для решения этой проблемы в первую очередь необходимо соблюдение основных лесохозяйственных, экологических и технологических принципов лесопользования и выполнение задачи по совершенствованию технологических процессов и оборудования предприятий лесопромышленного комплекса с полным использованием древесины, отведенной в рубку. В настоящее время потери древесины при лесозаготовках составляют 3–4 млн м³ в год. Это тот резерв, используя который, можно, не снижая объема лесозаготовок, значительно сократить площадь вырубаемой лесосеки. Как показывает статистика, при реализации сортиментной технологии основной продукцией, вырабатываемой из тонкомерных деревьев, являются балансы, составляющие до 30 % объема всей заготавливаемой древесины. По нашим оценкам трудоемкость производства балансов превышает трудоемкость производства пиловочника более чем на 40 %, при этом средняя цена балансов ниже цены пиловочника на 26 – 30%. В лесозаготовках смешанных лесных насаждений лучшие брёвна, как правило, используются для производства пиломатериалов, в то время как низкосортные части ствола заготавливают для производства балансовой древесины, идущей на производство целлюлозы и древесной массы. Практика лесопользования показывает, что вся эта древесина в настоящее время оставляется на лесосеке как невостребованная [9]. Каким же образом можно решить проблему рационального использования древесины в современных рыночных условиях на лесопромышленных предприятиях, имеющих в аренде смешанные леса с древесиной низкого класса товарности?

Одним из вариантов таких технологических процессов может стать ранее реализуемая (в эпоху СССР) технология, но на базе современных систем лесозаготовительных машин. Данная технология заключается в предварительной подсортировке круглых лесоматериалов на 2-3 сортотруппы (пиловочник различных пород и балансное долготье) в процессе работы харвестера и вывозки потребителям всего объема заготовленной древесины из лесных участков. Дальнейшая переработка стволовой древесины в зависимости от ее качества на различные виды пилопродукции может производиться как на собственных лесопильных участках, так и на специализированных предприятиях, куда соответствующее сырье может продаваться лесозаготовителями на основе договорных отношений. Вся низкотоварная древесина и древесные отходы производства подлежат поставке на предприятия глубокой переработки

древесины, а также могут быть использованы для получения различных видов энергии для собственного потребления или удовлетворения потребностей сторонних потребителей.

В качестве дополнения в этой отработанной и ранее реализуемой технологии предлагается производить раскряжевку низкотоварной древесины непосредственно на верхнем складе предприятия с использованием специализированных мобильных установок для пачковой раскряжевki, смонтированной на базе челюстного лесопогрузчика перекидного типа. Процесс распиловки пачек круглых лесоматериалов (полухлысты, долготье) предлагается производить непосредственно на трелевочно-транспортном средстве, доставляющем лесоматериалы от лесозаготовительной машины на верхний склад.

При этом в систему машин для реализации предлагаемого технологического процесса необходимо ввести:

- харвестер с прицепным формировочно-транспортным модулем в виде прицепа с двумя рамками (задняя – сварная жесткая, передняя – в виде зажимного двухрычажного коника). Харвестер производит валку дерева, обрезку сучьев, раскряжевку ствола в зависимости от его качества на пиловочник стандартных размеров или долготье. Пиловочник из качественной древесины (как сырье для производства пиломатериалов) укладывается на грунт для дальнейшей его сбора и доставки форвардером на погрузочный пункт, а долготье из низкокачественной древесины (как сырье для производства балансов и топливной древесины) укладывается в формировочно-транспортный модуль (ФТМ);

- форвардер (для сбора и транспортировки пиловочника);

- транспортная машина (ТМ) для доставки ФТМ с долготьем на верхний склад;

- челюстной погрузчик перекидного типа со смонтированной на нем установкой для пачковой раскряжевki долготья на балансы.

Альтернативной этой технологической схеме может быть технология доставки балансового долготья в пачках на автолесовозах на склад перерабатывающего предприятия с дальнейшей доработкой на установке V для пачковой раскряжевki.

В данной работе представлена методика расчета оптимальных параметров конструкции установки для пачковой раскряжевki круглых лесоматериалов, которая будет являться базовым элементом в системе машин для реализации технологии «единого технологического пакета» по обеим предлагаемым технологическим схемам реализации процесса комплексной переработки древесного сырья [10, 11]. Применение пачковой раскряжевki дает возможность сделать склад предприятия более компактным, мобильным и технологичным.

Схема установки для групповой раскряжевki круглых лесоматериалов представлена на рис. 1.

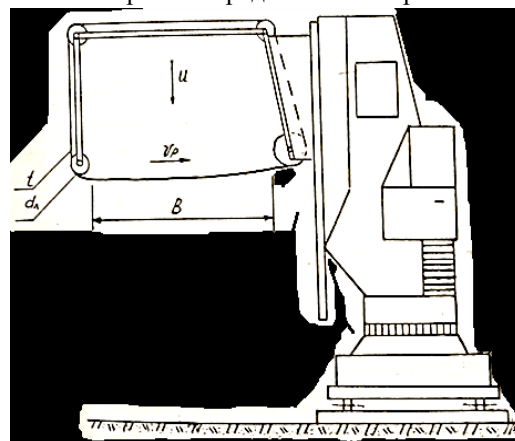


Рис. 1. Схема установки для групповой раскряжевki круглых лесоматериалов

Методы и результаты исследования.

Современный этап развития деревообрабатывающего оборудования характеризуется совершенствованием и широким внедрением аналитических и числовых методов расчета систем, эксплуатируемых в стохастических условиях. Стоящая перед нами задача относится к задаче параметрической оптимизации, в которой производится набор конечного числа параметров в системе (машине, механизме) при заданной ее структуре [12].

Для решения данной задачи параметрической синтезе установки для пачковой раскряжевki круглых лесоматериалов необходимо, чтобы поставленная цель и имеющиеся связи между переменными факторами процесса были выражены в виде математических зависимостей. Совокупность математических соотношений (формул, уравнений, неравенств) называется математической моделью процесса [13]. Математическая модель включает в себя целевую функцию и систему ограничений, определяющих множество допустимых решений.

Рассмотрим раскряжевочную установку и объект обработки (пачку долготья) в процессе пиления как физическую систему с несколькими входами и выходами и приведем формализованную постановку задачи статической оптимизации процесса [14, 15]. Все параметры, характеризующие состояние системы, можно представить в виде совокупности векторов V, X, Y .

V – вектор входных и возмущающих параметров.

$$V = (V_1, V_2, \dots, V_p). \quad (1)$$

К входным параметрам относятся характеристики поступающих исходных лесоматериалов, состояние оборудования и т.д. К возмущающим параметрам относятся неконтролируемые параметры древесного сырья, воздействия внешней среды и другие.

X – вектор режимных параметров

$$X = (X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (2)$$

Y – вектор выходных параметров.

$$Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_m) \quad (3)$$

Компонентами вектора Y служат характеристики выходного продукта, различные механические и экономические показатели. Приведенные выше параметры находятся в определенном интервале, технологически задаваемом режимом процесса в виде ограничений:

$$\begin{aligned} V_k^{\min} \leq V_k \leq V_k^{\max}; & \quad k = 1, 2, \dots, p, \\ X_j^{\min} \leq X_j \leq X_j^{\max}; & \quad j = 1, 2, \dots, n, \\ Y_i^{\min} \leq Y_i \leq Y_i^{\max}; & \quad i = 1, 2, \dots, m. \end{aligned} \quad (4)$$

При проведении оптимизации необходимо из множества допустимых значений параметров найти такие значения управляющих факторов, при которых принятый критерий оптимальности достигает своего экстремального значения [16, 17]. В этом случае математическое описание процесса может быть выражено как

$$Y_i = f_i(V, X), \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (5)$$

или в другой форме $Y = F(V, X)$.

Пусть эффективность работы объекта оценивается некоторым критерием оптимизации

$$E = \Omega(V, X, Y),$$

где $\Omega(V, X, Y)$ – целевая функция объекта.

С учетом выражения (4) аргументами целевой функции можно считать только векторы V и X .

Тогда

$$\Omega(V, X, Y) = \Omega[V, X, F(V, X)] = \Phi(V, X).$$

Сформулируем задачу оптимизации параметров процесса [16].

По известным значениям $[V_k] = [V_k^*]$ из области ограничений (1) необходимо найти такие $X_j = X_j^{opt}$, удовлетворяющие соотношениям (2), при которых выполняются условия:

$$Y_i^{\min} \leq Y_i \leq f_i(V^*, X) \leq Y_i^{\max}, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (6)$$

и

$$E = \Phi(V^*, X) \rightarrow \text{extr}. \quad (7)$$

где V^* – истинное значение вектора входных параметров.

Выражения (1), (2) и (6) являются ограничениями целевой функции (7), которыми задаются необходимые требования к входным параметрам технологического процесса и его управляющим воздействиям.

Задача оптимизации, поставленная в таком виде, является детерминированной и может быть решена методами математического программирования. Возникает она лишь тогда, когда существуют взаимно противоречивые ограничивающие условия и достижение оптимальности состоит в наилучшем удовлетворении этих условий, т.е. выборе такого варианта, когда критерий оптимальности достигает экстремального значения. Под критерием оптимальности понимается показатель или характеристика, позволяющие получить количественную оценку оптимальности прохождения процесса в любой конкретной ситуации [15]. В качестве критерия оптимальности могут быть приняты экономические, технологические, конструктивные и другие показатели качества.

К задаче выбора оптимальных режимных факторов и параметров обслуживания оборудования возможны два подхода. Первый характерен для условий проектирования оборудования, второй – для условий эксплуатации действующего оборудования. В проектом варианте модели имеют место ограничения, отражающие следующие условия:

- требования к качественным характеристикам продукции;
- технологически допустимый диапазон режимных факторов и регламента оборудования;

В производственном варианте модели к ним добавляются:

- требования к производительности оборудования;
- конструктивные и параметрические условия оборудования.

Режимные факторы определяют интенсивность работы оборудования. Интенсификация работы оборудования, с одной стороны, способствуют его эффективному использованию. С другой стороны, это обстоятельство вступает в противоречие с регламентом его обслуживания. Интенсивная работа вызывает повышенный износ оборудования и, следовательно, уменьшение межремонтного периода, частую смену рабочего инструмента [17]. Поэтому значительный интерес представляет задача выбора оптимальных параметров оборудования, удовлетворяющих условиям проектного и производственного вариантов модели процесса, при которых критерий оптимальности достигал бы своего экстремального значения [18].

В нашем случае в качестве критерия оптимальности выбран обобщенный показатель эффективности оборудования (установки для пачковой раскрывки круглых лесоматериалов), учитывающий условия максимальной производительности чистого пиления при минимальных затратах мощности на реализацию процесса пиления, а также максимальную надежность режущего инструмента по условию прочности при минимальной его материалоемкости. Учтены все эти противоречивые требования возможно только на основе исследования математических моделей, определяющих качественную и корректную связь вышеуказанных показателей эффективности (качества) установки с ее конструктивными и кинематическими параметрами. При проектировании оборудования любого назначения и любой конструкции необходимо, прежде всего, определить и охарактеризовать затраты мощности на реализацию цели данного вида оборудования. Анализируя процесс пачковой (групповой) раскрывки круглых лесоматериалов гибким режущим инструментом с чашечными резцами, можно сказать, что основной его энергосиловой характеристикой является мощность, расходуемая на реализацию процесса пиления. С учетом потерь, возникающих при передаче момента вращения от двигателя к приводному шкиву пильного аппарата, мощность, потребная для пиления, может быть выражена зависимостью [19]

$$N_p = (P_p \cdot V_p) / \eta, \quad (8)$$

где P_p – сила резания, Н; V_p – скорость резания, м/с; η – КПД трансмиссии установки.

Вопросом изучения сил, возникающих в процессе групповой раскряжевки хлыстов гибким режущим инструментом с чашечными резцами, занимался Г.Л. Козинов [20]. Результаты его исследований показали, что на силу резания оказывают влияние различные факторы, специфические только для случая групповой раскряжевки. К ним относятся такие, как коэффициент полндревесности пачки хлыстов, длина дна пропила и стрела прогиба режущего инструмента. Полученная зависимость имеет вид

$$P_p = \frac{k \cdot K_n \cdot (B_k - Sl)}{t} \left(1 + \frac{8f^2}{3B^2} \right) \times \left(0.75 \cdot u_z \sqrt{4R_n^2 - u_z^2} + \frac{\pi R_n^2}{2} - R_n^2 \arcsin \frac{\sqrt{4R_n^2 - u_z^2}}{2R_n} \right), \quad (9)$$

где k – удельная работа резания; K_n – коэффициент полндревесности пачки; l – расстояние от места пропила до комлевой части; B_k – ширина пачки в комлевой части; S – сбеж хлыстов на единицу длины; t – шаг резцов; u_z – подача на зуб; R_n – радиус лезвия резца, f – стрела провисания режущего органа.

Проведенные авторами предварительные экспериментальные исследования показали, что данная теоретическая зависимость не полностью отражает картину процесса раскряжевки пачки круглых лесоматериалов гибким режущим инструментом. Установлено некоторое несоответствие значений силы резания, полученных теоретическим и экспериментальным путем при идентичных значениях входящих параметров. Причем экспериментальные значения превышают теоретические. Природу подобного явления можно объяснить следующими причинами.

1. При раскряжевке пачки круглых лесоматериалов гибким режущим инструментом в результате действия силы отжима возникает некоторый треугольник сил, в котором гипотенузой является суммарная сила, действующая на ГРИ и, следовательно, определяющая течение процесса пиления данным инструментом. Данное значение силы фиксировалось при проведении реального процесса пиления на экспериментальной установке. Несложно подсчитать, что реальные значения силы отжима выше теоретических значений в 1,4 – 1,6 раза в зависимости от степени затупления резцов ГРИ. Таким образом, можно констатировать, что по формуле (9) определяется значение силы резания, возникающей непосредственно на резце, а не на весь ГРИ. Для дальнейших расчетов параметров раскряжевочной установки необходимо оперировать значением силы, действующей на несущий канат ГРИ с учетом силы отжима, которое и было получено в виде эмпирической зависимости в результате проведенных натуральных экспериментов.

2. Значение удельной работы резания k_0 (формула 9) определяется по эмпирической зависимости, полученной А.Л. Бершадским [19]. При этом не было учтено то обстоятельство, что при поперечной распиловке древесины резцами с кольцевой режущей кромкой значение k_0 ниже, чем при пилении цепными пилами. Данное утверждение основывается на сравнении значений

площадей эпюр величины подачи на зуб (U_z) для случаев пиления Г-образным зубом и резцами чашечного типа. Площадь эпюры S_2 значительно меньше площади S_1 . А так как при увеличении площади сечения срезанной стружки значение k_0 уменьшается, то делаем вывод о правильности нашего утверждения. С учетом вышесказанного появляется целесообразность и необходимость введения в зависимость (9) некоторого эквивалентного коэффициента K_3 , учитывающего взаимосвязь значений силы резания, полученных теоретическим и экспериментальными способами. Тогда сила, возникающая в несущем канате гибкого режущего инструмента (ГРИ) от действия силы резания, возникающая в процессе распиловки пачки круглых лесоматериалов с учетом силы отжима, определится как

$$P_p^{кан} = P_p / (1 - K_3), \quad (10)$$

где K_3 – коэффициент эквивалентности,

$$K_3 = (P_p^{эсп.} - P_p^{теор.}) / P_p^{эсп.},$$

где $P_p^{эсп.}$ – значения силы резания, полученные по эмпирическим зависимостям в результате проведения натуральных испытаний; $P_p^{теор.}$ – значение силы резания, полученные по теоретической зависимости (9).

Уравнение регрессии по определению K_3 рассчитано по результатам натуральных испытаний.

$$K_3 = 0,844 - 0,052B - 8,602U - 27,592U^2 \cdot B, \quad (11)$$

где B – суммарная длина дна пропила всех круглых лесоматериалов в пачке, м; U – скорость подачи ГРИ на пачку, м/с.

Таким образом, мощность резания для реализации процесса поперечной распиловки пачки круглых лесоматериалов с использованием ГРИ (8) переформируется в зависимость

$$N_p = (P_p^{кан} \cdot V_p) / \eta \quad (12)$$

При анализе энергосиловых, технико-экономических и надежности показателей процесса раскряжевки пачек хлыстов гибким режущим органом с резцами кольцевой формы выявлено, что основными параметрами, определяющими процесс, являются следующие:

- конструктивные:*
- ширина пачки, B ;
 - диаметр резцов режущего органа, d_n ;
 - шаг резцов, t .
- кинематические (технологические):*
- скорость резания, U_p ;
 - скорость подачи, U .

Влияние данных факторов на показатели качества установки носит противоречивый характер, поэтому задачу оптимизации должна решаться комплексно, с учетом всех вышеуказанных критериев.

Заключение

1. В настоящее время лесопромышленный и экологический потенциал лесов в дальневосточном регионе существенно снизился. Это, прежде всего, связано с интенсивным воздействием на них промышленных, в большинстве своем, сплошнолесосечных рубок и последовавших за ними лесных пожаров. Прогрессирующее истощение и ухудшение качества древесных ре-

сурсов, снижение их природоохранного и экологического потенциала требуют незамедлительного изменения стратегии лесопользования, перехода на ресурсосберегающие технологии лесозаготовок и переработки сырья.

2. Практическая значимость работы состоит в том, что предложенный метод оптимизации конструктивных и кинематических параметров установки для раскрывки пачек круглых лесоматериалов позволяет с высокой степенью точности произвести расчет всех заявленных параметров технологического оборудования с учетом технологических и конструктивных огра-

ничений для передачи в конструкторский отдел завода-производителя оборудования лесопромышленного назначения.

3. Описанный в работе метод проведения структурно-параметрического синтеза параметров лесопромышленного оборудования на примере раскрывочной установки позволяет производить расчеты оптимальных параметров любого по назначению и конструкции технологического оборудования лесопромышленного комплекса.

Литература

1. Создание и модернизация объектов лесной и лесоперерабатывающей инфраструктуры ООО Компании «ЭКО-ЛЕС» на 2019-2023 г. // 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 H. Comprehensive guidelines for local population participation in forest management in the southern part of Khabarovskiy krai // Guidelines and recommendations for participatory, sustainable forest use and management / Editor Makoto Inoue-Kanagawa(Japan): Institute for Global Environmental Strategies, 2015. P. 61-89.
3. Шейнгауз А.С., Каракин В.П., Тюкалов В.А. Лесной комплекс рос. Дальнего Востока. Хабаровск-Владивосток: БПИ ДВО РАН, 2016. 62 с.
4. Рябухин П.Б., Ковалев А.П., Шмелев Г.С. Современное состояние лесов рос. Дальнего Востока и перспективы их использования. Хабаровск: Изд-во ДальНИИЛХ, 2019. 470 с.
5. Ковалев А.П., Рябухин П.Б., Алексеенко А.Ю. О необходимости перехода на устойчивое и неистощительное использование лесов Дальнего Востока // Вестн. ТОГУ. 2011. № 2 (21). С. 61-71.
6. Основные направления развития отрасли: правительство Хабаровского края. Лесной комплекс. URL: <http://www.pg-online.ru/shipping>. (дата обращения: 20.03.2021).
7. Conservation action plan for the Russian Far East ecoregion complex: In 2 parts. Vladivostok: Khabarovsk: Blagoveshchensk: Birobidzhan: WWF, Far Eastern Branch, 2018.
8. Майорова Л.П., Рябухин П.Б. Рациональное использование древесного сырья как одно из направлений неистощительного лесопользования в Хабаровском крае // К новой эпохе лесопользования: сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-практического экологического семинара // Общественная организация «Ассоциация Мусасино-Тамма-Хабаровск». г. Мусасино (Япония), 2011. С. 7-15.
9. Kakizawa Ed., Hiroaki- Hayama (Japan). Developing a forest conservation strategy for the Russian Far East: The research interim report for the second year study // Russia country report 2012/2013: Institute for Global Environmental Strategies, 2014. P. 1-44.
10. Forest Industries, (USA). 2018. № 11. P. 58-63.
11. Forest Industries, (USA). 2019. № 4. P. 64-69.
12. Казаков Н.В. Обоснование параметров и структуры лесозаготовительных машин и технологий для условий Дальнего Востока: дис. ... канд. техн. наук. Химки, 1991. 178 с.
13. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. М.: Мир, 1995. 534 с.
14. Пижурин А.А. Оптимизация технологических процессов деревообработки. М.: Лесная пром-сть, 1995. 312 с.
15. Пижурин А.А. Основы оптимизации режимов механической обработки древесины: дис. ... д-ра техн. наук. М., 1992. 289 с.
16. Батищев Д.И. Методы оптимального проектирования. М.: Радио, 1995. 216 с.
17. Фергин В.Р. Методы оптимизации в лесопильно-деревообрабатывающем производстве. М.: Лесная пром-сть, 2005. 215 с.
18. Антушев Г.С. Методы параметрического синтеза сложных технических систем. М.: Наука, 1989. 88 с.
19. Бершадский А.Л. Справ. по расчету режимов резания древесины. М.: Гослесбумиздат, 1982. 125 с.
20. Козинов Г.Л. Разработка и исследование режущего органа для беззажимной раскрывки пачек хлыстов: дис. ... канд. техн. наук. Л., 1982. 188 с.
21. 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.

References

1. Creation and modernization of the objects of the forest and forest processing infrastructure of the Company "ECOLES" LLC for 2019-2023 // Konceptsiya investicionnogo projekta. «Dal'nevostochnyj innovacionno-tekhnologicheskij cent» (g. Habarovsk). Habarovsk, 2018. 103 p.
2. Sheingauz A., Antonova N., Glovatskaya O., Sukhomirov G., Bardal A., Kakizawa H. Comprehensive guidelines for local population participation in forest management in the southern part of Khabarovskiy krai // Guidelines and recommendations for participatory, sustainable forest use and management / Editor Makoto Inoue-Kanagawa(Japan): Institute for Global Environmental Strategies, 2015. P. 61-89.
3. SHEJNGAUZ A.S., KARAKIN V.P., TYUKALOV V.A. Forest complex of the Russian Far East. Habarovsk-Vladivostok: BPI DVO RAN, 2016. 62 p.
4. Ryabuhin P.B., Kovalev A.P., SHmelev G.S. The current state of forests of the Russian Far East and the prospects for their use. Habarovsk: Izd-vo Dal'NILH, 2019. 470 p.
5. Kovalev A.P., Ryabuhin P.B., Alekseenko A.YU. On the need to move to sustainable and inexhaustible use of forests of the Far East // Vestn. TOGU. 2011. № 2 (21). P. 61-71.
6. The main directions of the industry development: The Government of the Khabarovsk Territory. Forest complex. URL: <http://www.pg-online.ru/shipping>. (data obrashcheniya: 20.03.2021).
7. Conservation action plan for the Russian Far East ecoregion complex: In 2 parts. Vladivostok: Khabarovsk: Blagoveshchensk: Birobidzhan: WWF, Far Eastern Branch, 2018.
8. Majorova L.P., Ryabuhin P.B. Rational use of wood raw materials as one of the directions of sustainable forest use in the Khabarovsk Territory // K novej epohe lesopol'zovaniya: sb.

- nauch. tr. po itogam mezhdunar. nauch.-prakticheskogo ekologicheskogo seminara // Obshchestvennaya organizaciya «Associaciya Musasino- Tamma- Habarovsk». g. Musasino (Yaponiya), 2011. P. 7-15.
9. Kakizawa Ed., Hiroaki- Hayama (Japan). Developing a forest conservation strategy for the Russian Far East: The research interim report for the second year study // Russia country report 2012/2013: Institute for Global Environmental Strategies, 2014. P. 1-44.
 10. Forest Industries, (USA). 2018. № 11. P. 58-63.
 11. Forest Industries, (USA). 2019. № 4. P. 64-69.
 12. Kazakov N.V. Justification of parameters and structure of forest machines and technologies for the Far East: dis. ... kand. tekhn. nauk. Himki, 1991. 178 p.
 13. Himmel'blau D. Applied nonlinear programming. M.: Mir, 1995. 534 p.
 14. Pizhurin A.A. Optimization of technological processes of woodworking. M.: Lesnaya prom-st', 1995. 312 p.
 15. Pizhurin A.A. Fundamentals of optimization of modes of mechanical processing of wood.: dis. ... d-ra tekhn. nauk. M., 1992. 289 p.
 16. Batishchev D.I. Methods of optical design. M.: Radio, 1995. 216 p.
 17. Fergin V.R. Optimization methods in the saw mill and wood-working industry. M.: Lesnaya prom-st', 2005. 215 p.
 18. Antushev G.S. Methods of parametric synthesis of complex technical systems. M.: Nauka, 1989. 88 p.
 19. Bershadskij A.L. Handbook on the calculation of wood cutting modes. M.: Goslesbumizdat, 1982. 125 p.
 20. Kozinov G.L. Development and research of the cutting body for Designing and researching the cutting organ for non-clamping bucking of packs of whips: dis. ... kand. tekhn. nauk. L., 1982. 188 p.
 21. Ryabuhin P.B., Kazakov N.V., Lucenko E.V. Algoritm resheniya zadachi po kompleksnoj ocenke tekhnologicheskikh processov lesopromyshlennyh predpriyatij // Vestn. KrasGAU. 2018. № 1. P. 26-33.