

Автоматизированное управление перепозиционированием пильных модулей в станке с круговым вращательно- поступательным движением полотен*

Блохин М.А., Дымчаков И.И., Емельянов Д.Д.

Московский государственный университет им. Н.Э. Баумана,
г. Москва, Российская Федерация

hornet10@yandex.ru, dymchakov@mail.ru

Аннотация. В статье изложен материал, демонстрирующий решение проблемы повышенного уровня в создании распиловочного оборудования с характеристиками, в разы превышающими лучшие мировые образцы аналогичного функционального назначения. Оборудование принадлежит области производства пиломатериалов с высокими потребительскими характеристиками. Отличительная особенность представленного оборудования – плоское круговое вращательно-поступательное движение пильных полотен в составе пильных модулей, расположенных на двух параллельных шлицевых валах. Функцию главного звена станка выполняет пильный блок (далее – ПБ), объединяющий шесть пильных модулей (далее – ПМ) с их взаимным угловым расположением, обеспечивающим нулевую реакцию инерционных сил на опорах валов ПБ во время «вращения» ПМ. Одновременно решена частная задача управления перемещением ПМ, обеспечивающих заданный параметр толщины выпускаемого пиломатериала. С целью жёсткой временной фиксации пильных модулей на валах ПБ предложены самоблокирующиеся червячные манипуляторы, поочерёдно связанные винтами со всеми соответствующими ПМ. Простая с виду задача потребовала широкого инженерного образования с нестандартным конструкторским мышлением, что подтверждено 7 (семью) патентами России на изобретения и 4-мя научными работами уровня к.т.н. и д.т.н. Изложенный в статье материал позволяет читателю погрузиться в мир изобретения оборудования нового качества, где сложные конструкторские задачи представлены в простом и доступном виде.

Ключевые слова: пильный модуль, автоматизация перепозиционирования, фиксация

ВВЕДЕНИЕ

Россия относится к ведущим странам, обладающим лесным богатством, как для собственного потребления, так и для экспорта. В «Стратегии лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года», планируется: «...к 2030 году мировой спрос на пиломатериалы составит 595 млн. куб. метров, а темпы прироста в целом составят от 0,8 до 2 процентов в год...».

Однако Россия не владеет, в достаточной мере, технологией и способами эффективной и глубокой обработки добываемого древесного материала, что предполагает технологическую зависимость страны от импортных поступлений необходимого оборудования.

Для стимулирования и развития российской машиностроительной отрасли, выпускающей деревоперерабатывающие станки и иное целевое оборудование, Россия ограничила и снизила экспорт до 10% от величины добываемого кругляка. В планах России предполагается увеличение производства пиломатериала с 42,6 до 62-69,5 млн. м³ в год. Планируемые объёмы предполагается направить как на внутренний рынок, так и за рубеж, преимущественно в КНР. При этом к 2030 году ожидается увеличение внутреннего спроса на пиловочник с 16,3 до 24,7 млн. м³. Запрос на отечественные пиломатериалы на международных рынках должен вырасти с 26,4 до 37,2-44,8 млн. м³. Повышение мощностей выпуска пиломатериалов экономически рассматривается в рамках увеличения существующих и создания современных лесоперерабатывающих кластеров с высокопроизводительным оборудованием нового вида. При этом упор смещается на выпуск пиломатериалов представителями малого и среднего бизнеса, когда доставка пиловочника к месту его переработки не превышает 10-30 км.

РЕШЕНИЕ

Для решения практических задач по выпуску необходимого пиломатериалов достаточно высокого качественного уровня отмечается объективная зависимость лесоперерабатывающих кластеров от использования второсортного, ввозимого импортного оборудования, что является не допустимым.

Назрела задача разработки и создания российского многопильного серийного оборудования, с параметрами, превосходящими лучшие образцы аналогичного функционального назначения по всем основным технико-экономическим и эксплуатационным показателям. Кардинальное решение поставленной задачи, касающейся распиловочного оборудования, предполагалось решить, реализуя принципиальную схему станка, представленного на рис. 1.

Воплощением этой идеи занимались многие изобретатели [1-9]. Так, например, в тематический план НИИДРЕВМАШ (Москва) была включена работа по созданию «Устройства для распиловки древесины», конструктивная схема которого была заявлена в Госкомитет СССР по делам изобретений и открытий за №734164 от 09.06.1961. Марийский ордена Дружбы народов политех-

* Статья публикуется по рекомендации программного комитета Всероссийской научно-технической конференции "Автоматизация", <https://rusautocon.org>

нический институт им. А.М. Горького в 1983 г подал заявку на изобретение «Лесопильная рама» за №3536885/29-15 от 11.01.83. Результаты – отрицательные.

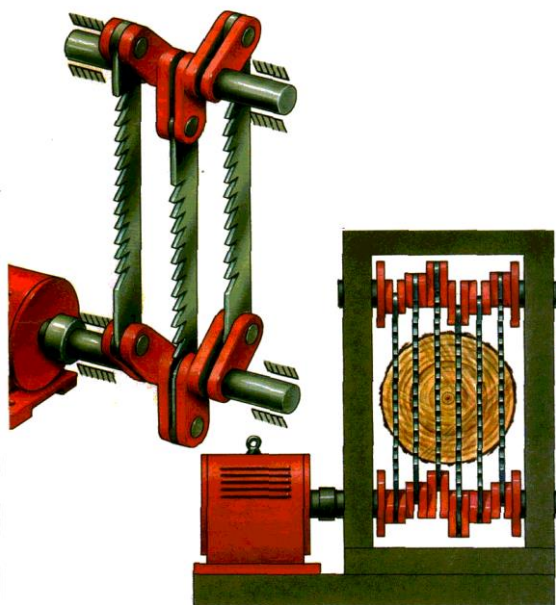


Рис. 1 Принципиальная схема распиловочного оборудования с плоским круговым вращательно-поступательным движением пильных полотен

Для положительного решения поставленной задачи был выполнен ряд научных разработок, включая конструкторско-технологические находки [10-15], а одна из них представлена в этой статье.

В результате проделанной работы были выполнены расчёты и изготовлен пильный блок, представленный моделью в формате D3 на рис. 2.

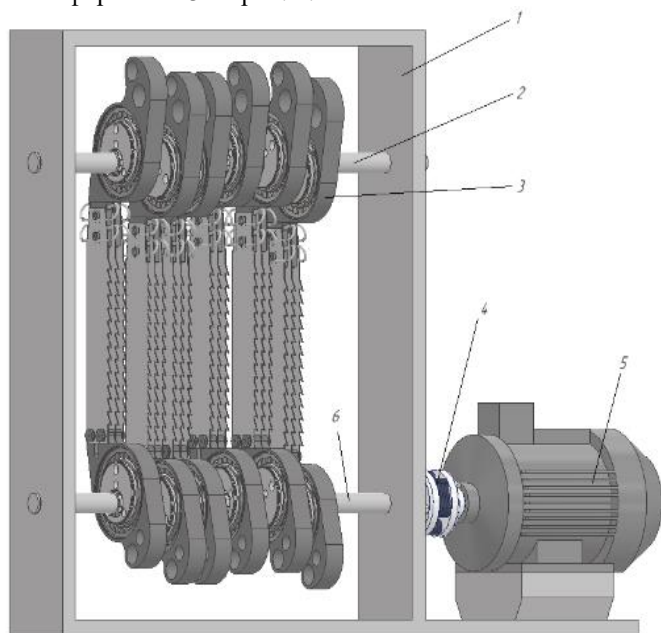


Рис. 2. 3D модель многопильного блока с круговым плоским вращательно-поступательным движением пильных полотен:

1 – рама; 2, 6 – шлицевые валы; 3 – многопильный модуль; 4 – муфта; 5 – электродвигатель

Известная методология работы «многопилы», при распиловке заготовок с одновременным выпуском обрезных досок заданной толщины, вынуждает операторов станков вручную перепозиционировать и вновь жёстко фиксировать инструмент при распиловке заготовок, на доски другого типоразмера. Это обстоятельство вынуждает использовать иные приспособления, что приводит к потере вспомогательного и рабочего времени.

С решением принципиальной задачи создания многопильного блока [16-19] возникла необходимость и цель кардинального решения задачи перепозиционирования ПМ при распиловке двухкантного бруса на обрезные доски и ламель различной толщины и в любом сочетании.

Задача автоматизированного заданного оперативного перепозиционирования и фиксации ПМ на валах ПБ стало реализуемой только на станке, схема ПБ которого представлена рис. 2.

Функционирование разработанного многопильного блока (рис. 2) происходит после подачи вращающего момента на нижний вал 6 от двигателя 5, обладающего мощностью 7-11 кВт. Поскольку ПМ 3 по угловому расположению на валах отличаются друг относительно друга на 60°. При этом центральный угол пиления (резания) близок к величине 59°, распиловка характеризуется относительной плавностью с наличием усилия резания, прижимающего заготовку к вальцам (не показано), подающим заготовку в область резания. Динамически сбалансированные валы 2 и 6 в сборе с узлами 3, несущими закреплённые полотна, воздействуют на опоры 1 исключительно от сил растяжения полотен и веса обеих валов с ПМ в сборе.

Эксплуатационные возможности ПМ, представленного на рис. 3, позволяет из двухкантного бруса получать доски и иной брус шириной 50-275 мм. Разнотолщинность пиломатериала находится в пределах 0,2-0,4 мм и обеспечивается эффектом действующих, при пилении, сил в режиме обратной отрицательной связи.

Эксцентриситет e определяется конструктивными особенностями используемых подшипников 10 с размерами 22,5-30 мм. В каждый ПМ могут быть установлены полотна в равном количестве: 1, 2 или 3.

Максимально допустимое усилие F_H , обеспечивающее как статическую устойчивость, так и отсутствие резонансных колебаний задней кромки полотна, определяется величиной, не превышающей значения критического момента M_{cr} , при внецентренном растяжении полотна Z [16-25]:

$$M_{cr} = \frac{\pi}{l} \sqrt{EJ_1 \times GJ_2}$$

где E – модуль упругости для стали, модуль сдвига $G = 0,5E(1 + \mu)$; $EJ_1 = E \cdot (h^3 \cdot b^*/12)$ – жесткость пильного полотна при изгибе в направлении, перпендикулярном плоскости воздействия внешних моментов; $GJ_2 = [0,5E(1 + \mu)] \cdot \beta \cdot h^3 \cdot b^*$ – жесткость при кручении, μ – коэффициент Пуассона, β – функция отношения b^*/h , где b^* – ширина пильного полотна, h – толщина пильного полотна, l – длина полотна.

Максимально допустимая величина силы натяжения пильного полотна F_{Hmax} , выражается формулой:

$$F_{Hmax} = \frac{\pi h^3 b^* E}{Zl} \sqrt{\frac{(1 + \mu)\beta}{24}}$$

где Z – эксцентриситет внецентренного растягивающего усилия пильного полотна.

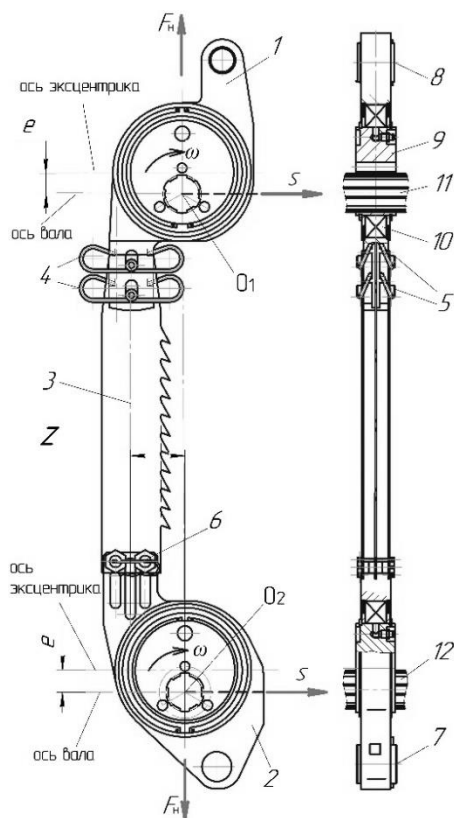


Рис. 3. Пильный модуль:

1 – верхний узел; 2 – нижний узел; 3 – полотно; 4 – пружины; 5 – пальцы; 6 – крепёж; 7 – корректирующая масса; 8 – корректирующая масса; 9 – эксцентрик; 10 – подшипник; 11 – верхний вал; 12 – нижний вал; Z – величина внецентренного растяжения полотна; F_n – усилие натяжения; S – величина подачи заготовки на оборот

Выбранные конструктивные и частотные соотношения «вращения» каждого ПМ, а также выбранное усилие натяжения пильного полотна/ен, сохраняют устойчивое рабочее движение пильных модулей при максимально возможных оборотах подшипников.

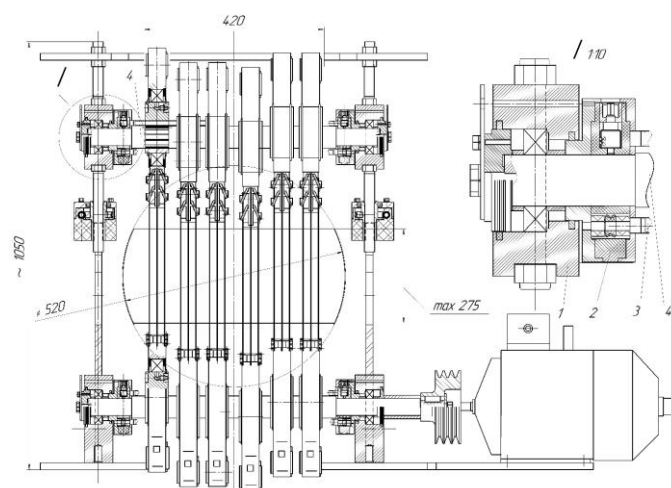


Рис. 4. Пильный блок с манипуляторами перепозиционирования пильных модулей:

1 – опорный подшипниковый узел; 2 – манипулятор; 3 – винт; 4 – верхний вал

Перепозиционирование ПМ осуществляется на валах 6 и 2 (см. рис. 3) пильного блока 4 (рис. 4) манипуляторами 2, конструкция которых представлена на рис. 5.

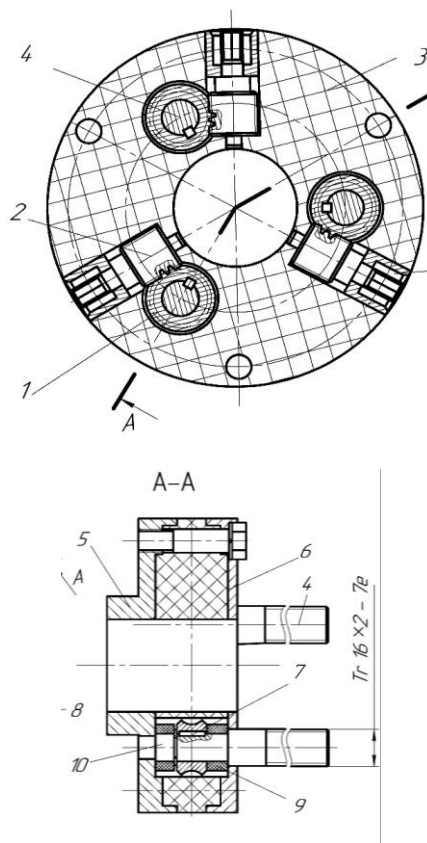


Рис. 5. Манипулятор перепозиционирования пильных модулей на валах пильного блока:

1 – червячное колесо; 2 – червяк; 3 – корпус; 4 – винт; 5 – корзина; 6 – крышка; 7 – шпонка; 8 – пробка; 9 – шайба-1; 10 – шайба-2

Каждый манипулятор закреплён на обоих валах ПБ со стороны опорных подшипниковых узлов. Каждый манипулятор связан с тремя эксцентриками ПМ одним из трёх винтов 4. Крутящий момент на концевике червяка 2 вызывает вращение червячного колеса 1 и вращение соответствующего винта 4, соединённого с червячным колесом шпонкой 7. Конструкция манипулятора располагается в корпусе 3 между корзиной 5 и крышкой 6, где шайбы 9, 10 выполняют функцию скользящих подшипников винта 4, а пробка 8 – фиксирует червяк от выпадения из корпуса.

Синхронное (одновременное) вращение винта 4 манипулятора верхнего и нижнего валов обеспечивает одновременное перемещение соответствующего пильного модуля: одного из 6-ти на каждом вале ПБ. Червячная передача обладает эффектом самоблокировки, что обеспечивает жёсткое долговременное, неизменяемое положение ПМ на валах ПБ.

Перепозиционирование ПМ может осуществляться в ручном и автоматизированном режимах. Ручной режим, как вариант, предполагает передачу крутящего момента червякам верхнего и нижнего манипуляторов с помощью гибких валов со специальными магнитными адаптерами от бытового шуруповёрта через синхронизирующий шестерёнчатый переходник.

Автоматизированное управление перепозиционированием пильных модулей осуществляется манипулятором 1 (рис. 6) по радиосигналам от узла 6, расположенного в бандаже 2 и объединяющего источник питания (аккумулятор и элементы радиуправления). Соответствующий радиосигнал подаётся на соленоид 3, который перемещает магнитную втулку 4, связывая вал микроэлектродвигателя 5 (МЭД) с концевиком червяка манипулятора.

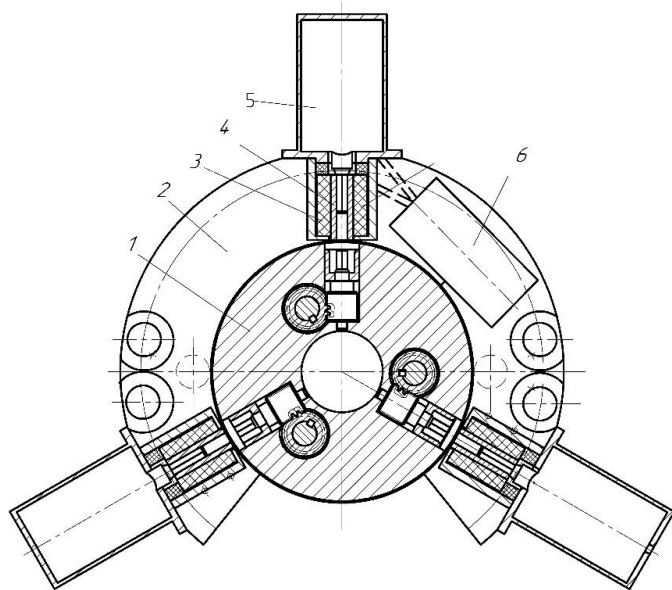


Рис. 6. Перепозиционирование пильных модулей:

1 – манипулятор; 2 – бандаж; 3 – соленоид;
4 – магнитная втулка; 5 – шаговый микроэлектродвигатель;
6 – источник питания + элементы радиуправления

Бандаж 2 (рис. 6 и рис.7) неподвижно крепится к опорному подшипниковому узлу.

Процесс передачи вращающего момента от вала микроэлектродвигателя к концевик червяка осуществляется при условии совпадения осей отверстий 6 (рис. 7) подшипникового узла и манипулятора. Вращение червяка вызывает вращение винта 4, по резьбе входящего в эксцентрик 5 пильного модуля 7.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный расчёт мощности и габаритных размеров МЭД, а также надёжности работоспособности манипулятора перепозиционирования ПМ на валах ПБ показывает реальность работоспособности предложенного научно-технического решения.

Выполненные расчёты червячной передачи манипулятора в связке с МЭД дают гарантию успешного выполнения перепозиционирования ПМ при установке 3-х полотен с их общей силой натяжения равной величине 750 Н.

Выбранный МЭД серии ДПР (диаметр = 20 мм, длина = 40 мм) удовлетворяет необходимым требованиям. Сменяемые источники питания (аккумуляторы или электробатареи), размещаемые в бандаже, позволяют осуществлять необходимые действия на приемлемом временном участке работы оборудования.

Созданное и представленное в настоящей статье разработанное оборудование по всем параметрам значительно (в разы) превышает характеристики лучших мировых образцов аналогичного функционального назначения.

Проработана конструкция станка в варианте «многопила», незаменимого при переработке заготовок и иных лесных ресурсов недалеко от места добычи или складов временного хранения пиловочника, а также в местах и на землях с избыточной влажностью почвы.

Конструктивное исполнение ПМ, в составе ПБ, обеспечивает:

- распиловку двухкантного бруса в автоматизированном режиме перепозиционирования полотен пильных модулей и выпуска пиловочника заданного размера, исключая предварительную сортировку заготовок по заданным размерам;
- выпуск иного, изменяемого, заданного номенклатурой пиломатериала за один проход;
- повышение коэффициента использования заготовки (двухкантного бруса) на 10-15%;
- повышение в 1,5-2,5 раза суточной производительности станка в целом;
- снижение себестоимости, выпускаемой пилопродукции;
- снижение трудовых затрат оператора станка с одновременным качественным улучшением результатов его работы;
- снижение энергопотребления в 2,5-4 раза по сравнению с аналогами по функциональному назначению (многопильный станок с возвратно-поступательным движением пильной рамки - Р63-4Б);
- снижение общей массы станочного оборудования в 2-4 раза.

Представленное принципиальное конструкторско-технологическое решение пильного блока распиловочного оборудования (многопила) с плоским круговым поступательно-вращательным движением пильных полотен также исключает проявление параметрического резонанса полотен в зоне рабочей частоты их вращательно-поступательного движения.

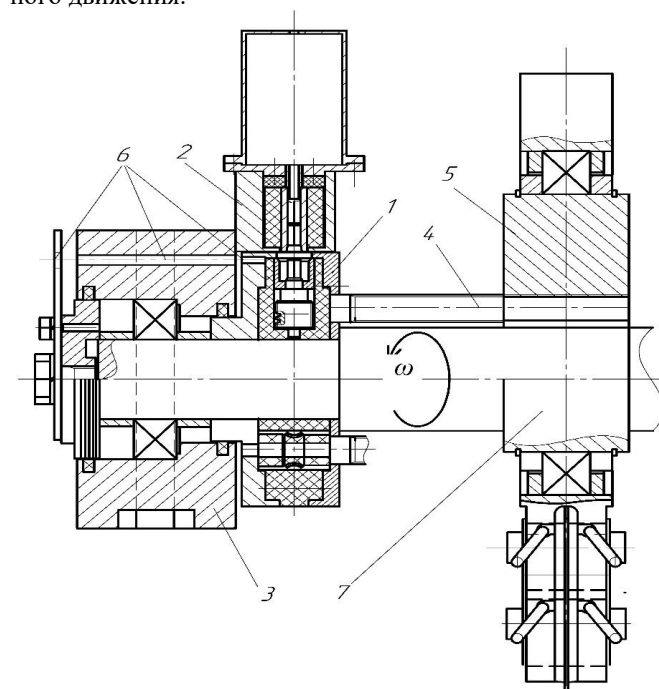


Рис. 7. Манипулятор в бандаже (вид сбоку):

1 – манипулятор; 2 – бандаж; 3 – опорный подшипниковый узел;
4 – винт; 5 – эксцентрик; 6 – оси отверстий опорного подшипникового узла; 7 – пильный модуль

ЛИТЕРАТУРА

1. Юрьев А. Идея, воплощённая через 100 лет // Журнал «Техника – молодёжи». – 1998. - №6. – С. 4.
2. John W. McGehee, USA Patent 3929048, 1975.
3. Бартошевич Ю.К. Свидетельство на изобретение СССР №146019, 1962.
4. Буйнов Р.И. Патент России №1771443, 1992.
5. Акпанбетов С.Б. Патент России №2058884, 1993.
6. Гузиков В.А., Матюхин А.В., Страхов А.В. Патент России №2060872, 1996.
7. Бартошевич Ю.К. Свидетельство на изобретение СССР №146019, 1961.
8. Андрианов В.В., Журиков В.Ф., Кучкина Н.П., Матвеева М.В. Свидетельство на изобретение СССР №288278.
9. Подлесный Д.А. Автоматизация процесса и повышение эффективности многопильного оборудования с круговым поступательным движением полотен // Вестник машиностроения. – 2020. – №5. – С. 41-46.
10. Белкин А.Е. Расчёт пластин методом конечных элементов / А.Е. Белкин, С.С. Гаврюшин. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 151 с.
11. Гаврюшин С.С. Численный анализ элементов конструкций машин и приборов / С.С. Гаврюшин, О.О. Барышникова, О.Ф. Борискин. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 479 с.
12. Гаврюшин С.С. Разработка методики численного анализа динамических характеристик многопильного станка с круговым поступательным движением дереворежущих полотен / С.С. Гаврюшин, В.С. Прокопов, М.А. Блохин // Вестник МГТУ. Машиностроение. – 2010. – №4(81). – С. 108.
13. Гаврюшин С.С. Анализ лесопильного станка с использованием виртуальной математической модели / С.С. Гаврюшин, М.А. Блохин, В.Б. Фунг // Наука и Образование. – 2014. – №12. – С. 128.
14. Фунг В.Б. Разработка математической модели для процесса управления жизненным циклом многопильного станка нового типа / В.Б. Фунг, М.Х. Данг, С.С. Гаврюшин // Наука и образование. – 2017. – №2. – С. 87.
15. Фунг В.Б. Автоматизация и управление процессом принятия решений при многокритериальном проектировании пильного блока лесопильного станка: дис. ... канд. техн. наук. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 157 с.
16. Прокопов В.С. Разработка методики численного анализа динамических характеристик многопильного станка с круговым поступательным движением дереворежущих полотен: дисс. ... канд. техн. наук. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – 206 с.
17. Блохин М.А. Мехатроника и робототехника в лесопильном оборудовании // Вестник машиностроения. – 2019. – №8. – С. 33.
18. Phuong B.V. Application of a Novel Model “Requirement–Object–Parameter” for Design Automation OF Complex Mechanical System / B.V. Phuong, S.S. Gavriushin, D.H. Minh, P.V. Binh, N.V. Duc // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2020. – Vol.1127. – С. 375.
19. Гаврюшин С.С. Метод смены подпространства управляющих параметров и его применение к задачам синтеза нелинейно деформируемых осесимметричных тонкостенных конструкций / С.С. Гаврюшин, А.С. Николаева // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. – 2016. – №3. – С. 120.
20. Eremykin P.A. A software system for thin-walled parts deformation analysis / P.A. Eremykin, A.D. Zhargalova, S.S. Gavriushin // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2018. – Vol. 658. – С. 259.
21. Гаврюшин С.С. Элементы управляемой упругой деформации для функциональных устройств робототехнического оборудования // Мехатроника. – 2000. – №5. – С. 16.
22. Gavriushin S.S. Nonlinear analysis of elastic thin-walled shell structures // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. – 2002. – Vol. 7, no. 4. – С. 223.
23. Еремейкин П.А. Расчетно-экспериментальная оценка технологических деформаций при "мягких" режимах токарной обработки тонкостенных деталей / П.А. Еремейкин, А.Д. Жаргалова, С.С. Гаврюшин // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2018. – Vol. 20. No.1. – С. 22.
24. Galakhar A.S. Defining the assigned useful life of operational facilities taking into account the safe operation index / A.S. Galakhar, S.S. Gavryushin // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2018. – Vol. 47, no. 4. – С. 345.
25. Валиашвили Н.В. Сопrotивление материалов и конструкций: учеб. для академического бакалавриата / Н.В. Валиашвили, С.С. Гаврюшин. – М.: Издательство Юрайт, 2017. – 429 с.

Automated Control of the Repositioning of Sawing Modules in a Machine with Circular Rotary-Linear Motion of the Blades

Blokhin M.A., Dymchakov I.I., Emel'yanov D.D.

Bauman Moscow State Technical University

Moscow, Russian Federation

hornet10@yandex.ru, dymchakov@mail.ru

Abstract. The article presents a material demonstrating the solution to the problem of high level in creating sawing equipment with characteristics that far exceed the best world examples of similar functional purpose. The equipment belongs to the field of high consumer characteristics sawn timber production. The distinctive feature of the presented equipment is the flat circular rotary-linear motion of the saw blades as part of the sawing modules located on two parallel spline shafts. The main element of the machine is the sawing unit (hereinafter - SU), combining six sawing modules (hereinafter - SM) with their mutual angular arrangement, ensuring zero reaction of inertial forces on the supports of the SU shafts during the "rotation" of the SM. At the same time, the specific task of controlling the movement of the SM, ensuring the specified parameter of the thickness of the produced sawn timber, is solved. In

order to rigidly fix the sawing modules on the SU shafts, self-locking worm manipulators are proposed, alternately connected by screws to all the corresponding SM. A seemingly simple task required a wide engineering education with non-standard design thinking, confirmed by 7 patents of Russia for inventions and 4 scientific works of the candidate of technical sciences and doctor of technical sciences level. The material presented in the article allows the reader to immerse in the world of inventing high-quality equipment, where complex design tasks are presented in a simple and accessible form.

Keywords: sawing module, repositioning automation, fixation.

Библиографическое описание статьи

Блохин М.А. Автоматизированное управление перепозиционированием пильных модулей в станке с круговым вращательно-поступательным движением полотен / М.А. Блохин, И.И. Дымчаков, Д.Д. Емельянов // *Машиностроение: сетевой электронный научный журнал*. – 2024. – Т.11, №4. – С. 9-14. DOI: 10.24892/RIJIE/20240402

Reference to article

Blokhin M.A., Dymchakov I.I., Emel'yanov D.D. Automated control of the repositioning of sawing modules in a machine with circular rotary-linear motion of the blades, *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2024, vol.11, no.4, pp. 9-14. DOI: 10.24892/RIJIE/20240402