

**Ключевые слова:**

многопильный станок, пиломатериал, бревно, доска, двухкантный брус, лесопильные предприятия, пильные полотна, ресурс, надежность, качество

ПРИНЦИПИАЛЬНО НОВЫЙ МНОГОПИЛЬНЫЙ СТАНОК ПОВЫШЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Сергей ГАВРЮШИН, Михаил БЛОХИН

Представлены этапы разработки и основные технические характеристики принципиально нового многопильного станка с круговым поступательным движением полотен. Рассмотрены основные преимущества разработанного оборудования по сравнению с традиционными моделями лесопильного оборудования.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ СОВРЕМЕННОГО ЛЕСОПИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В настоящее время существует широкий спектр станков, который включает в себя три основные конструктивные схемы лесопильного оборудования:

- лесорамы – станки с возвратно-поступательным движением пильной рамки;
- станки с дисковыми пилами;
- станки с ленточными пилами.

К основным недостаткам лесорам относятся значительная масса станка и большой объем строительно-монтажных работ, стационарность, а также повышенная вибрация. Для круглопильного оборудования характерным является сложность изготовления и высокая стоимость дисковых пил диаметром более 400 мм, а также повышенная ширина пропила. Ленточнопильные станки характеризуются малой производительностью и малым сроком работы полотна.

Несмотря на то, что каждая из трех упомянутых выше конструктивных схем распиловочного оборудования имеет свои достоинства и недостатки, все типы станков успешно используются в малом лесопилении и прилегающих областях. Новые экзотические способы обработки древесины, использующие струну, клин, лазерный луч или струю воды под высоким давлением, в настоящее время не получили промышленного освоения. Какой-либо научной информации о разработке станков по схеме «коленчатой» пилы также не удается найти.

При комплексном рассмотрении трех упомянутых конструктивных схем остается ряд нерешенных проблем: проблема низкого энергосбережения при распиловке, проблемы при изготовлении самого оборудования – надежного и простого в эксплуатации, мобильного и выполняющего одновременно несколько функций на одной базовой модели, проблема распиловки тонкомерного пиловочника.

Можно сделать вывод о том, что три приведенных типа станков дополняют друг друга, обладая присущими им достоинствами, но актуальной является задача создания нового оборудования, обладающего преимуществами распиловочных станков, которое, по возможности, было бы лишено присущих этим станкам недостатков.

По нашему мнению, на роль такого вида оборудования претендует «коленчатый» станок с круговым поступательным движением полотен (рис. 1). Работа по его созданию была направлена как на сохранение и приумножение достоинств традиционных пилорам, так и на устранение присущих им недостатков.

Анализируя конструктивную схему и динамику движения пильных полотен, можно отметить ряд достоинств представленного на рис. 1 пильного блока:

- обеспечено динамическое равновесие механизма станка, а соответственно – отсутствие фундамента и массивной станины, которая несет нагрузку только от сил натяжения полотен и сил резания;



Рис. 1. Принципиальная схема «коленчатого» станка для распиловки бревен и бруса

- наличие коротких пильных полотен с длиной, превышающей размер заготовки лишь на величину диаметра эксцентриситета вращения пильных модулей, значительно повышает жесткость и устойчивость полотен, что позволяет изготавливать тонкие полотна из ленты;
- снижены удельные энергозатраты при распиловке и последующей обработке пиломатериала за счет обеспечения рационального процесса пиления;
- уменьшено энергопотребление станка за счет пиления только одним пильным модулем в любой момент времени;
- обеспечена возможность ведения более эффективной распиловки двухкантного бруса и тонкомерного пиловочника на одной базовой модели;
- передача рабочего движения от нижнего вала верхнему осуществляется самими пильными полотнами, что значительно упрощает конструкцию станка;
- малый вес и незначительные габариты предполагают оперативное использование станка в труднодоступных районах с ограниченным энергопотреблением при использовании бытового генератора;
- инструмент прост в подготовке и эксплуатации;
- практическое отсутствие вибрации станка и его узлов ведет к стабилизации процесса резания, созданию экологичной рабочей обстановки.

Проектирование авторской конструкции, впитавшей достижения предыдущих разработчиков,

опиралось, в том числе, на патентные исследования. Причем все предшествующие изобретатели видели основную задачу в синхронизации вращения валов, и решали эту задачу с помощью цепной или шестеренчатой передачи, а также с помощью рычажного механизма или самих полотен.

Проблема создания «коленчатого» станка имеет достаточно интересную историю. Понимая рациональность и выгодность такой конструкции, многие специалисты и изобретатели пытались реализовать ее на практике. Однако, не имевшие достаточного научного обоснования эмпирические попытки его создания не привели к какому-либо положительному решению.

В этой связи необходимо отметить мнение математиков МГУ имени М.В. Ломоносова о том, что задача передачи рабочего движения в механизме «коленчатой» пилы элементами с однонаправленной жесткостью (пильными полотнами) не имеет строгого математического решения. Можно также отметить еще ряд практических проблем, возникающих в процессе создания дей-

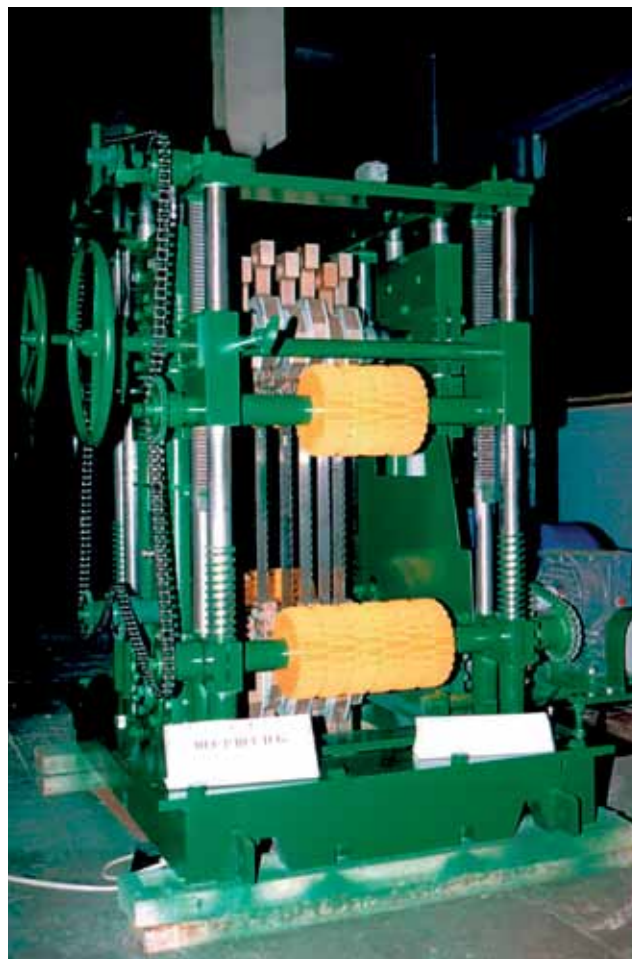


Рис. 2. Станок модели М2001 (без кожуха) для распиловки бревен



Рис. 3. Станок модели М2002 (без кожуха) для распиловки двухкантного бруса

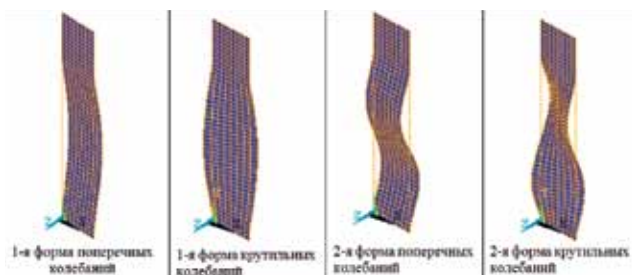


Рис. 4. Поведение пильных полотен: различные формы собственных колебаний пильных полотен шириной 80 мм, длиной 350 мм и толщиной 1,47 мм

ствующего оборудования по схеме «коленчатой» пилы. Так, например, у первого макетного образца полотна изгибались вплоть до соударения друг с другом уже при частоте вращения валов около 1000 мин⁻¹, этого явно недостаточно для требуемой производительности распиловки.

Несмотря на трудности, учеными и конструкторами МГТУ им. Н.Э. Баумана были спроектированы, изготовлены и испытаны опытные образцы многопильного станка с круговым поступательным движением полотен. Принципиально новый, и м п о р т о з а м е щ а ю щ и й ,

наукоемкий, ресурсосберегающий, малогабаритный многопильный станок предназначен для комплектации лесопильных предприятий с производительностью от 20 до 50 м³ сырья в смену при высоком качестве и точности обработанных поверхностей пиломатериала (рис. 2, 3). Подготовлена соответствующая конструкторская документация литеры «О» (выполнена корректировка КД по результатам изготовления и предварительных испытаний опытных образцов).

Техническое решение запатентовано в России (патент на изобретение № 2555798) и прошло международную предварительную патентную экспертизу по системе РСТ. Разработанный многопильный станок не имеет аналогов в мире.

По совокупности технико-экономических и эксплуатационных характеристик станок занимает первое место в линейке станков аналогичного функционального назначения. Наибольший экономический эффект при использовании данного станка и его модификаций заключается в энергосбережении собственно при распиловке, а также при изготовлении самого оборудования (в силу малой металлоемкости).

По экспертной оценке ведущих специалистов, по состоянию на 2007 год ориентировочная потребность России в станках упомянутого класса и его модификаций составляла 3–4 тыс. шт./год. В советское время только лесорам типа Р63-4Б (оборудование аналогичного функционального назначения) было выпущено более 200 тыс. шт., сегодня они требуют замены, поскольку морально и материально устарели.

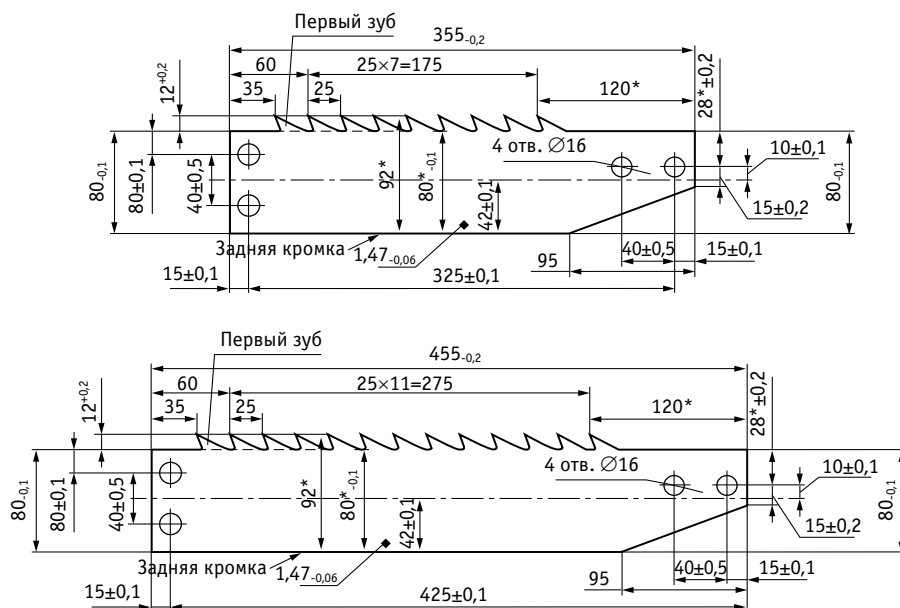


Рис. 5. Основные габаритные размеры пильных полотен для распиловки двухкантного бруса толщиной до 175 и до 275 мм

Наиболее важным при разработке нового станка оказалось выявление наличия огромного спектра частот собственных и параметрических колебаний пильных полотен (рис. 4).

Ранее эти и иные частоты не могли быть определены аналитически в полном объеме, и, соответственно, не могла быть осуществлена отстройка рабочих частот станка от возможных частот колебаний пильных полотен. Поэтому, в силу новизны и сложности решаемой задачи, а также наукоемкости рассматриваемой проблемы, ее решение было невозможно без применения самых современных численных методов расчета. В их числе – МКЭ, современные программные продукты NX и ANSYS, а также оригинальные программы, разработанные авторами.

Для достижения поставленной цели была создана комплексная методика расчета и проектирования многопильного станка с принципиально новой схемой движения пильных полотен, обосновавшая решение ряда задач, таких как:

- анализ и динамическая балансировка механизма «коленчатого» станка;
- отстройка пильного блока и станка от нежелательных резонансных режимов и параметрических колебаний пильных полотен;
- обеспечение точности и качества пиления для данной конструктивной схемы лесопильного оборудования;
- обеспечение долговечности и надежности узлов и элементов предложенной конструкции.

Необходимо отметить, что специфика движения пильного полотна при его рабочем круговом поступательном движении накладывает определенные ограничения и обуславливает жесткие соотношения между углом заострения зубьев, эксцентриситетом кругового движения, подачей на оборот и шагом зубьев. Перечисленные условия были определены и сформулированы в оригинальных зависимостях. Чертежи пильных полотен для распиловки двухкантного бруса представлены на рис. 5.

Пильные полотна изготавливаются из ленты толщиной 1,4 или 1,47 мм, а зубья снабжаются твердым сплавом типа «Стеллит».

Что касается отстройки станка от нежелательных резонансных режимов и параметрических коле-

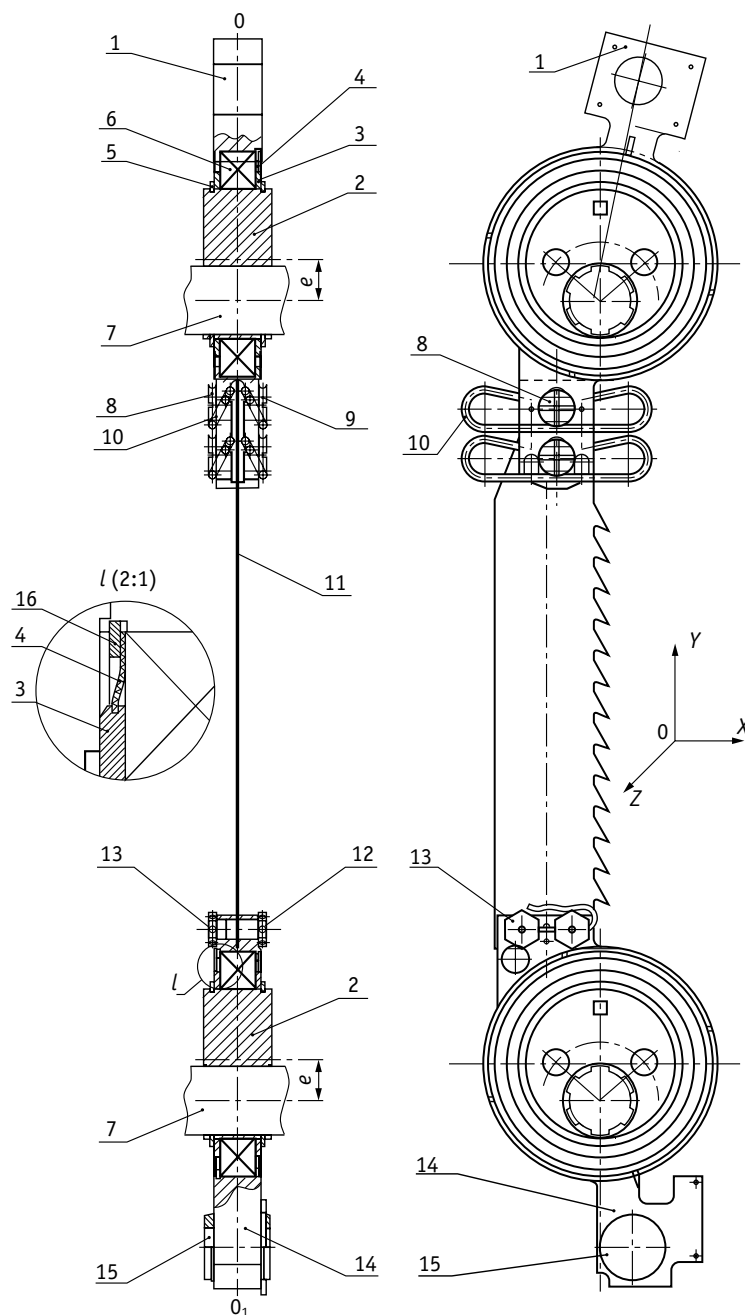


Рис. 6. Главный узел пильного блока: 1 – верхний шарнирный узел, 2 – эксцентрик, 3 – кольцо, 4 – кольцо пыльник, 5 – пружинное кольцо (запорное), 6 – радиально-упорный подшипник, 7 – вал шлицевой, 8, 9 – крепеж верхнего шарнирного узла, 10 – упругий элемент (скоба), 11 – пильное полотно, 12, 13 – крепеж нижнего шарнирного узла, 14 – нижний шарнирный узел, 15 – устройство баланса (корректирующая масса) со шпилькой, 16 – пружинное кольцо (запорное)

баний пильных полотен, то проблема оказалась многоуровневой, с последовательным решением отдельных задач, как бы вложенных одна в другую. При этом задачи качественно отличались по при-



a

Рис. 7. Образцы выпиленной продукции: а – доска толщиной 16 мм и шириной 100 мм, б – теневое определение шероховатости



b

чинам колебаний, но были схожи по следствиям (колебаниям).

Предложенная методика динамической балансировки механизма «коленчатого» станка (пильных модулей) позволила решить одну из упомянутых задач с помощью балансировочных устройств. Корректирующие массы (п. 15 на рис. 6), помещенные в шарнирные узлы (п.1 и п.14 на рис. 7), минимизируют негативные изгибающие моменты в полотнах, возникающие при вращении валов пильного блока.

В конструкции нового станка теоретически обоснован и реализован способ подвижной фиксации полотен в шарнирах пильных модулей, обеспечивающий заданные усилия натяжения полотен упругими элементами с нелинейной характеристикой жесткости.

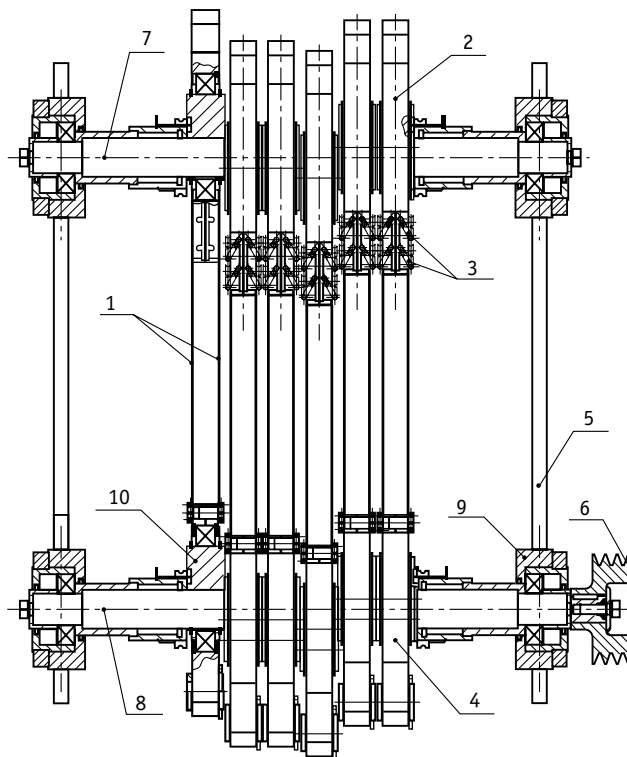


Рис. 8. Главный узел станка (динамически сбалансированный пильный блок): 1 – пильные полотна (общее количество – 6, 12, 18 шт.), 2 – верхний шарнирный узел с элементами подвижной фиксации пильного полотна и корректирующей массой, 3 – упругие элементы, 4 – нижний шарнирный узел с элементами крепления пильного полотна и корректирующей массой, 5 – боковая стойка, 6 – шкив нижнего вала пильного блока, 7 – верхний вал, 8 – нижний вал, 9 – подшипниковые опоры валов, 10 – эксцентрик

Поведение упругого элемента описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений, используемых в оригинальной программе расчета жесткости упругого элемента. Помимо выравнивания усилий натяжения полотен в пильном блоке упругие элементы позволили решить задачу компенсации технологических зазоров пильных модулей и влияния изменения геометрических размеров полотен при их нагревании в процессе эксплуатации. Одновременно за счет использования таких упругих элементов удалось снять еще одну возможную причину параметрических колебаний, связанную с периодическим изменением усилия натяжения пильных полотен. Форма упругого элемента, а также способ фиксации элемента в шарнирном узле

Таблица 1. Основные сравнительные технические характеристики моделей М2001, М2005, Р63-4Б, РМ-50

№ п/п	Параметры	М2001, М2005	Р63-4Б	РМ-50
1.	Ширина просвета пильной рамки, мм	630, 570	650	450
2.	Максимальная толщина обрабатываемого бруса (бревна), мм	275×540; (350×540)	560	240
3.	Толщина полотна, мм	1,47 (1,4)	2,0–2,2	1,2–1,47
4.	Число пил (полотен), шт.	6–12–18	3–12	до 19
5	Количество зубьев с твердым сплавом на одном полотне	10 (брус 275), 17 (Ø 400)	Не менее 30	Не менее 15
6	Время работы между перезаточками, ч	40–60	4–6	Данных нет
7.	Количество режущих импульсов в минуту	2200–2500	285	265
8.	Подача бревна, бруса, м/мин	0,1–2,0 (до 2,5) непрерывная	1–1,5	0,42–0,6
9.	Количество электродвигателей, шт.	2	4	2+ компрессор
10.	Общая установленная мощность, кВт	8,75–11,75	43,0–52,4	11–15
11.	Габариты, м (без пристаночного оборудования)	1,6×1,0×1,1	2,18×2,55×3,0	2,42×1,2×2,02
12.	Масса станка, лесорамы, кг	До 800	3 500	1 900
13.	Наличие фундамента	Без фундамента	Обязателен массивный	Легкий

представлены в комплекте пильного модуля (п. 10 на рис. 6).

Особое внимание было уделено обеспечению точности пиления – исключению блуждания полотна в пропиле. Проанализированы условия потери устойчивости полотен как в классическом варианте расчета, так и при их растяжении

по линии кончиков зубьев. Выбран вариант растяжения полотен с так называемым дифференцированным эксцентриситетом растяжения, что позволило повысить частоту собственных колебаний полотен и, соответственно, производительность станка при высоком качестве поверхности распила.

Образцы выпиленной продукции представлены на рис. 7. Можно отметить, что шероховатость обработанной поверхности близка к строжке (рис. 7а). На рис. 7б видно, что поверхность доски в области сучка практически полированная. Также видна характерная геометрия движения передних режущих кромок зубьев (граница резания).

Для обеспечения расчетной долговечности и надежности конструкции, в рамках жизненного цикла основных узлов и деталей, была проведена их оптимизация. В частности, она коснулась габаритно-весовых параметров валов пильного блока (п. 7 и 8 на рис. 8)

Так, например, при расчете ресурса работы валов была выявлена существенная зависимость их долговечности от их длины, которая была учтена в кон-

Таблица 2. Возможная номенклатура толщин досок (ГОСТ 24454-80) после усушки (с влажностью древесины 20%, ГОСТ 6782.1-75), выпиленных пильным блоком станка за один проход

Толщина до усушки (мм) / кол-во досок (шт.)*	Кол-во пил (шт.)	Ширина разлук (мм)	Ширина досок (мм) по ГОСТ 24454-80	Кол-во разлук (шт.)
16 / 5 + 32 / 6	12	Без разл.	75, 100, 125, 150	10
19 / 5 + 32 / 6	12	7,2	... + 175	10
22 / 5 + 32 / 6	12	10,2	... + 200, 225	10
25 / 5 + 32 / 6	12	13,	... + 250, 275	10
32 / 11	12	20,2		10
50 / 5	6	Без разл.		Нет
80 / 1 + 32 / 4	6	68,2	100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 275	2
16 / 17	18	Без разл.	75, 100, 125, 150	Нет

*Возможны любые дополнительные варианты распиловки при использовании электромеханизации.

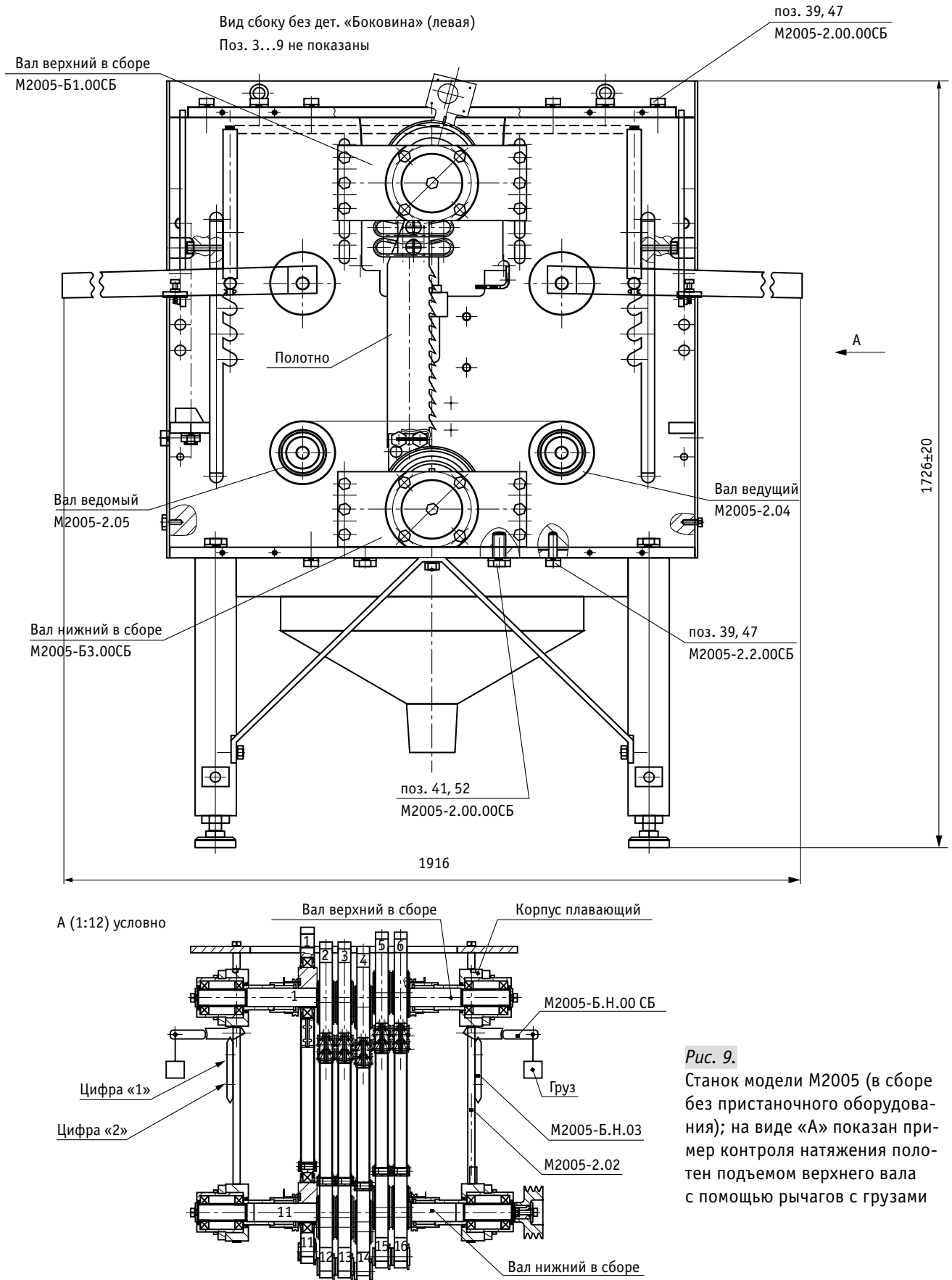


Рис. 9.

Станок модели М2005 (в сборе без приставочного оборудования); на виде «А» показан пример контроля натяжения полотна подъемом верхнего вала с помощью рычагов с грузами

струкции, и соответствует работе станка более чем в течение 30 лет при двухсменной работе.

Отработаны требования динамической балансировки валов пильного блока без привлечения каких-либо дополнительных корректирующих масс. Можно с уверенностью утверждать, что схема с 6-ю эксцентриками (шарнирными узлами) наиболее выгодна. Порядок размещения пильных модулей обеспечивает динамический баланс пильного блока. Отсутствие вибрации станка и его узлов ведет к стабилизации процесса резания, повышению качества продукции, уменьшению рабочих нагрузок на детали станка, увеличению срока эксплуатации подшипниковых узлов, созданию экологичной рабочей обстановки. Особенностью такой конструктивной схемы является эффект постоянного нагружения заготовки силами резания, прижимающими ее к подающему валу (рябухе).

Следует сказать, что ряд расчетов проводился при участии, в качестве консультантов, специалистов Института точной механики, НИИ подшипниковой промышленности и некоторых других организаций.

Симбиозом разработанных моделей, а также результатом расчетов и испытаний является станок М2005 (рис. 9), имеющий ряд принципиальных отличительных характеристик по сравнению с лесорамами Р63-4Б, РМ-50, а также ленточнопильным, круглопильным оборудованием (табл. 1). В первую очередь следует отметить снижение в 1,5–4 раза (в зависимости от характерного размера бревна, заготовки) энергозатрат на распиловку единицы обрабатываемого материала по сравнению с отечественными и зарубежными образцами (пилорамами с возвратно-поступательным движением пильной рамки, круглопильными станками), что обеспечивается принципиально иной технологией резания.

При эксплуатации станка М2005 энергопотребление (по сравнению с аналогами: Р63-4Б, РМ-50) снижается в 2,5–4 раза, поскольку в любой момент времени процесс пиления осуществляется только одним (из шести) пильным модулем, снабженным одним, двумя или тремя пильными полотнами из установленных 6-ти, 12-ти или 18-ти соответственно.

Вес самого станка снижается в 2–4 раза за счет замены возвратно-поступательных движений пильных полотен на их круговое поступательное движение и обеспечения динамического баланса действующих сил.

Качество поверхности распила улучшается за счет двукратной обработки каждой единицы поверхности тремя рядом расположенными зубьями (режущими элементами), при повышении точ-

ности распиловки (разнотолщинности по длине доски) с уровня, нормируемого ГОСТ 24454-80, который составляет $\pm 1,0\text{--}2,0$ мм (для средней толщины доски 23 мм) до значения $\pm 0,3\text{--}0,4$ мм (зона упругих деформаций древесины). Коэффициент использования древесины повышается более чем на 10% при изготовлении досок различной толщины, в том числе паркетной доски.

Вес и габариты станка, а также практическое отсутствие динамических сил в опорах позволяет осуществлять рабочий монтаж станка на барже, железнодорожной платформе, ином немассивном фундаменте или без него.

Упрощена работа с листовницей при подаче ПАВ (поверхностно-активное вещество) в зону резания. Шероховатость после распиловки близка к строжке.

Окупаемость станка, в зависимости от сорта и качества выпускаемого пиломатериала, – минимальна для станков аналогичного назначения.

Имеются значительные перспективы увеличения производительности, а также снижения металлоемкости и себестоимости при использовании новых технологий и материалов. На разработанном оборудовании может осуществляться распиловка тонкомерного леса групповым методом.

Станок прост в наладке и эксплуатации. Увеличение суточной производительности станка модели М2005 по сравнению с лесорамами типа Р63-4Б или РМ-50 составляет 2–4 раза; по сравнению с ленточнопильным оборудованием любого класса – 3–6 раз; по сравнению с круглопильным оборудованием любого типа – 2–3 раза.

На основе комплекса научно-технических, технологических и схемных решений, а также экспериментально доказана возможность эффективного качественного пиления древесины полосовыми пилами, совершающими круговое поступательное движение.

Авторы разработки предлагают заинтересованным организациям рассмотреть возможность создания совместного предприятия по серийному выпуску описываемых станков. Как вариант может рассматриваться передача по договору патентной лицензии конструкторской и иной необходимой документации специализированному предприятию.

ГАВРЮШИН Сергей Сергеевич –

*доктор технических наук, заведующий кафедрой
РК-9 МГТУ им. Н.Э. Баумана*

БЛОХИН Михаил Анатольевич –

*доктор технических наук, руководитель проекта,
МГТУ им. Н.Э. Баумана*