

механизма подачи роторных окорочных станков // Вестник Алтайского ГАУ. № 9. – Барнаул: АГАУ, 2013. – С.102-106.

3. Шомин И.И., Побединский В.В., Василевский Д.А. Амплитудно-частотные характеристики колебаний фундаментов и конструкций корообдирочных барабанов [Электронный ресурс]// Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5; URL: <http://www.science-education.ru/111-10161> (дата обращения: 26.09.2013).

4. Побединский В.В., Попов А.И., Василевский Д.А. Экспериментальные исследования роторных окорочных станков // Вестник КрасГАУ. №10(85). – Красноярск: КрасГАУ, 2013. – С.201-206.

5. Побединский В.В., Попов А.И., Василевский Д.А. Моделирование кинематики механизма подачи окорочных станков // Вестник Саратовского ГАУ им. Вавилова. №11. – Саратов: СГАУ, 2013. – С.59-63.

6. Побединский В.В., Попов А.И., Василевский Д.А. Оптимальное проектирование механизма подачи роторных окорочных станков // Инновационная деятельность. № 4(27).– Саратов: СГТУ, 2013. – С.80-84.

7. Побединский В.В., Попов А.И., Василевский Д.А. Моделирование динамики механизма подачи роторных окорочных станков. // Вестник БГАУ. № 4(28). – Уфа: БГАУ, 2013. – С.98-102.

8. Побединский В.В., Попов А.И., Василевский Д.А. Разработка конструкции прижима вальцов окорочного станка // Вестник Саратовского ГАУ им. Вавилова. № 12. – Саратов: СГАУ, 2013. – С.53-56.

#### II. Патенты на полезную модель

9. Пат. 132377 Российской Федерации, МПК В27L 1/00 (2006/01). Устройство прижима вальцов роторного окорочного станка / В.В. Побединский, А.В. Мехренцев, Д.А. Василевский, А.И. Попов, Н.В. Рябкова, К.П. Асин; заявл. 09.04.2013, опубл. 20.09.2013, Бюл. № 26.

10. Пат. 129232 Российской Федерации, МПК G01L 1/16 (2006.01). Устройство для измерения нагрузок в роторных окорочных станках / В.В. Побединский, А.В. Мехренцев, Д.А. Василевский, А.И. Попов, Н.В. Рябкова; заявл. 10.01.2013, опубл. 20.06.2013, Бюл. № 17.

#### III. Доклады к научным конференциям, статьи в сборниках научных трудов

11. Побединский В.В., Василевский Д.А. Совершенствование окорочных инструментов // Леса России и хозяйство в них. № 1(44). – Екатеринбург: УГЛТУ, 2013. – С. 76-79.

12. Побединский В.В., Василевский Д.А. Совершенствование окорочных станков // Леса России и хозяйство в них. № 1(44).–Екатеринбург: УГЛТУ, 2013.–С. 79-82.

13. Побединский В.В., Попов А.И., Василевский Д.А. Моделирование процесса окорки короснимателем с гидроприводом // Леса России и хозяйство в них. № 3(46). – Екатеринбург: УГЛТУ, 2013. – С.62-65.

14. Побединский В.В., Попов А.И., Василевский Д.А. Новые типы приводов в окорочных станках // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: матер. IX Всерос. науч.-техн. конф. студ. и аспирантов 29-30 апреля 2013. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2013. – С.224-228.

На правах рукописи



ВАСИЛЕВСКИЙ Дмитрий Андреевич

## РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМА ПРИЖИМА ВАЛЬЦОВ РОТОРНОГО ОКОРОЧНОГО СТАНКА С ПНЕВМОГИДРОПРИВОДОМ

05.21.01 - Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Екатеринбург - 2014

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет».

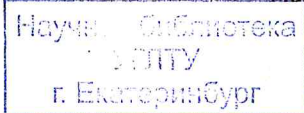
- Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент  
Побединский Владимир Викторович.
- Официальные оппоненты: Газизов Асгат Масхатович, доктор технических наук, профессор кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный аграрный университет»
- Берстнев Андрей Владимирович, кандидат технических наук, ведущий инженер-конструктор ОАО ОКБ «Новатор» (г. Екатеринбург).
- Ведущая организация – ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова»

Защита диссертации состоится 24 декабря 2014 г. в 10-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.281.02 при ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет» (620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37), к. 401.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», <http://www.usfeu.ru/nauka/dissertatsionnye-sovety.html>.

А-1485

Автореферат разослан 19 ноября 2014 г.



Ученый секретарь  
диссертационного совета  
кандидат технических наук

*Handwritten signature*

Куцубина Нелли Валерьевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Одной из важнейших операций в современных технологиях лесозаготовительных процессов является окорка лесоматериалов. Во всех развитых лесопромышленных странах использование роторных окорочных станков (РОС) стало стандартным для технологических линий лесопереработки. Для этих целей в нашей стране с 80-х годов прошлого столетия серийно выпускались станки унифицированной гаммы, оснащенные электрическим приводом механизма подачи, что делало их недостаточно конкурентоспособными в сравнении с зарубежными аналогами. Поэтому с 1985 года, когда начались работы по техническому перевооружению отрасли, было запланировано создание новой гаммы РОС, более высокого технического уровня, с внедрением гидропривода механизма подачи. Но из-за невыполнения намеченных планов совершенствование станков унифицированной гаммы не произошло.

В этот период достаточно четко проявилась тенденция перехода на гидропривод практически во всех зарубежных конструкциях: «Valon Kone» (Финляндия), «Тауме», «Nicholson» (Канада), «Söderhamn Eriksson» (Швеция), «SCS-SDB», «Eno Sanguo» (Япония) и других производителей. Зарубежный опыт последних лет показал, что интенсивное развитие информационных технологий, элементной базы гидропривода позволяет решать ранее недоступные для практической реализации задачи конструктивного исполнения рабочих органов станков. В результате получило развитие то направление, которое в России было обосновано теоретически и достаточно успешно начато в конце 80-х годов.

Промышленность сегодня выпускает любое оборудование и комплектующие элементы для производства гидрофицированных станков. Однако отсутствие теоретических разработок, посвященных вопросам проектирования таких конструкций, не позволяет в полной мере реализовать достижения прогресса и создавать новые модели окорочных станков с более высокими показателями надежности, производительности и технического уровня в целом.

Таким образом, разработка методов исследования и проектирования рабочих органов окорочных станков, оснащенных новыми типами приводов, позволяет решить важную практическую задачу и является чрезвычайно актуальной.

**Целью** работы являлось повышение надежности, производительности роторных окорочных станков путем применения в механизме подачи пневмогидропривода прижима вальцов к поверхности лесоматериала, а также повышение качества и сокращение сроков проектирования станков за счет использования методов имитационного моделирования их работы, оптимизации параметров конструкции и моделирования предмета труда окорочных технологий.

Для достижения цели были поставлены и решены следующие задачи:

- на основе анализа результатов работ, посвященных совершенствованию РОС и существующих механизмов подачи, определить наиболее перспективную конструкцию для применения с пневмогидроприводом механизма прижима вальцов (МПВ);

- выполнить разработку кинематической, принципиальной схем пневмогидропривода МПВ и разработать в среде Simulink+Simscapе имитационную

модель кинематической схемы с оптимизацией ее параметров;

- разработать имитационную модель механической системы МПВ с возможностью использования ее для расчета прочностных, кинематических и динамических параметров механизма;

- разработать имитационную модель в среде Simulink+SimHydraulics гидросистемы для привода механизма прижима вальцов;

- выполнить интеграцию имитационных моделей механической системы прижима вальцов и гидросистемы в среде Simulink+Simscape и исследовать на модели работы механизма с гидроприводом;

- разработать имитационную модель лесоматериала в системе механизма подачи, получить модель продольного микропрофиля поверхности ствола для моделирования воздействий на вальцы и выполнить численный эксперимент в среде Simulink по исследованию работы МПВ с пневмогидроприводом;

- для обеспечения использования результатов исследований на практике разработать методику и алгоритм программного комплекса для проектирования МПВ с пневмогидроприводом и оценить экономическую эффективность от внедрения результатов исследований в проектно-конструкторскую практику и производство.

**Объект исследований.** Конструкция механизма прижима вальцов в механизме подачи роторных окорочных станков.

**Предмет исследований.** Закономерности взаимодействия механизма подачи, оснащенного пневмогидроприводом прижима вальцов, с лесоматериалом в процессе окорки.

**Методы исследований.** Для проведения исследований в качестве основного научного метода использован метод комплексного моделирования, под которым понимается математическое моделирование с использованием компьютерных средств на всех этапах выполнения разработки. Реализация принятого метода исследований осуществлялась в программной среде системы компьютерной математики MatLab и ее приложения Simulink с элементами Simscape имитационного визуально-блочного моделирования.

**Научная новизна.** Впервые разработаны имитационные модели кинематической схемы, механической системы и пневмогидропривода прижима вальцов в среде Simulink+Simscape приложения MatLab, необходимые для определения его параметров при проектировании. Сформулирована математическая постановка задачи оптимального проектирования параметров кинематической схемы МПВ и разработан алгоритм ее решения. Впервые разработаны имитационная модель лесоматериала в системе механизма подачи с пневмогидроприводом и модель продольного микропрофиля поверхности ствола, позволяющие определять в среде Simulink воздействия на вальцы в процессе подачи лесоматериала.

Новой является методика проектирования механизма подачи с пневмогидроприводом МПВ. Новизна предлагаемых по результатам исследований конструктивных решений подтверждена двумя патентами на полезные модели.

**На защиту выносятся** следующие результаты:

- имитационная модель кинематической схемы механизма прижима валь-

цов и ее реализация в системе Simscape приложения MatLab;

- постановка задачи оптимального проектирования параметров кинематической схемы МПВ;

- имитационная модель и ее реализация в среде Simulink+Simscape механической системы МПВ, используемая для расчета прочностных, кинематических и динамических параметров конструкции;

- имитационная модель и ее реализация в системе Simulink+SimHydraulics гидросистемы для привода механизма прижима вальцов;

- имитационная модель и ее реализация в среде Simulink пневмогидропривода МПВ, необходимая для определения параметров конструкции механизма подачи;

- имитационная модель лесоматериала в системе механизма подачи и модель микропрофиля поверхности ствола для моделирования в среде Simulink воздействий на вальцы в процессе окорки;

- зависимости характеристик работы пневмогидропривода от технологических параметров, полученные по предложенным моделям;

- методика проектирования механизма прижима вальцов с пневмогидроприводом в системе MatLab.

**Достоверность результатов.** Обоснованность результатов определяется обращением к известным экспериментальным данным для расчетов и сопоставлений результатов, корректным использованием современных методов исследования, накопленным опытом работы по моделированию работы гидропривода, непротиворечивостью и воспроизводимостью результатов, полученных теоретическим путем, проведением оценки адекватности разработанных моделей с использованием экспериментальных данных. Полученные алгоритмы реализованы на компьютере и апробированы в виде вычислительных экспериментов.

**Практическая ценность** работы и ее реализация в промышленности. В результате исследований определены оптимальные параметры кинематической схемы, механической системы и пневмогидропривода прижима вальцов. Разработан программный комплекс для проектирования и оптимизации параметров конструкции МПВ с пневмогидроприводом. Разработан алгоритм и компьютерная программа в среде Simulink для моделирования параметров лесоматериала и механических воздействий на вальцы при окорке. Предложенные конструктивные решения, программы могут использоваться для проектирования кинематики и пневмогидропривода подобных механизмов. Результаты исследований были приняты для использования в практике создания окорочных станков и других аналогичных механизмов ООО «УралНИИЛП» и ОАО «УралНИИДрев» (г. Екатеринбург).

Экономическая эффективность от внедрения станка с параметрами механизма подачи и пневмогидроприводом прижима вальцов, принятыми по результатам исследований, составляет 209,2 тыс. руб. на станок в год и не менее 203 тыс. руб. на модель станка.

**Апробация.** Результаты исследований докладывались и обсуждались на кафедрах сервиса и эксплуатации транспортных и технологических машин, автоматизации технологических процессов Уральского государственного лесо-

технического университета, IX Международной научно-технической конференции 29-30 апреля 2013 г. «Лесные технопарки – дорожная карта инновационного лесного комплекса: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса» (г. Екатеринбург), IX Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Научное творчество молодежи – лесному комплексу России» 29-30 апреля 2013 г. (г. Екатеринбург).

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 14 печатных работ [99-112], в том числе восемь работ в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК, получено два патента на полезную модель.

**Объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, выводов и рекомендаций, списка литературы из 112 наименований и двух приложений на 18 страницах. Основное содержание изложено на 183 страницах, содержит 61 рисунок, 10 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** рассмотрены основные положения диссертационной работы, обоснована актуальность исследований, дана краткая аннотация работы.

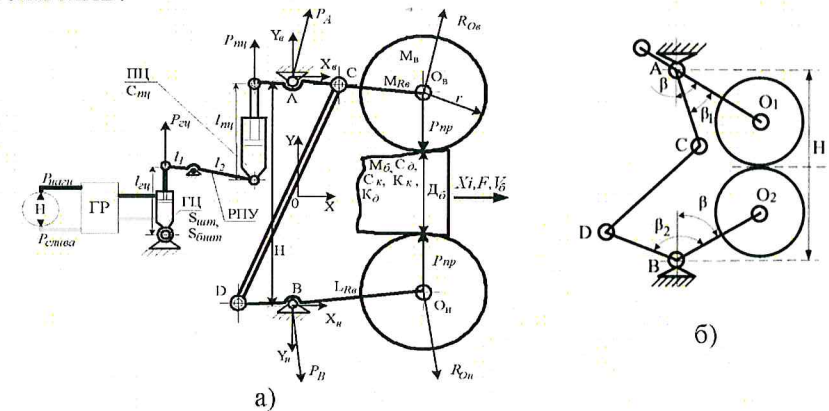
**В первой** главе выполнен анализ состояния проблемы, изучены конструкции РОС, известные в мировой практике, выявлены тенденции их совершенствования, основными из которых являются применение пневмо- и/или гидропривода. На основе анализа установлено, что наиболее перспективным конструктивным решением является исполнение РОС с двухвальцовым механизмом подачи по типу станков унифицированной гаммы и фирмы «Valon Kone», которое в настоящих исследованиях и рассматривается с точки зрения дальнейшего совершенствования станков.

В развитие технологий окорки, совершенствование роторных станков, инструментов значительный вклад внесли исследования профессоров, д-ров техн. наук С.П. Бойкова, М.Н. Симонова, Г.И. Торговникова, А.М. Газизова, И.Р. Шегельмана, Е. И. Платонова, кандид. техн. наук А.А. Добрачева, А.В. Мехренцева, В.А. Мехренцева, Н.Ф. Пигильдина, В.С. Попеко, Л.Д. Фрида, В.Н. Кашуры, В.А. Кацадзе, В.В. Побединского, А.Н. Некрасова и других ученых. Обзор показал, что в отечественных РОС также были попытки использовать гидропривод. Например, конструкция станка ОК-36 была оснащена гидрофицированным ротором, в станке ОК-100 используется гидропривод для общего прижима короснимателей и некоторых вспомогательных движений. В 80-х годах профессором, д-ром техн. наук Симоновым М.Н. был обоснован переход на гидропривод и создание новой гаммы РОС, а кандидат. техн. наук Побединским В.В. были обоснованы параметры механизма подачи таких станков. На сегодняшний день во многих моделях зарубежного выпуска используется воздушонепроницаемый ротор, пневмо- и гидропривод прижима короснимателя. В некоторых моделях станков финского производства предусмотрен ступенчатый гидравлический прижим вальцов в комбинации с гидроаккумулятором. Но, несмотря на поиск новых решений, достаточно функционально эффективный и с возможностью использования его в перспективе с автоматическим управлением

гидропривод прижима вальцов не создан. Также в российской и зарубежной печати отсутствуют работы, посвященные непосредственному применению гидропривода в РОС, а проблема оснащения отечественных станков гидроприводом механизма подачи остается нерешенной.

На основании анализа состояния вопроса выявлены тенденции в развитии РОС, обоснована актуальность темы, определена цель и сформулированы задачи исследований.

**Вторая** глава посвящена разработке конструктивного решения МПВ с пневмогидроприводом (рисунок 1а) и имитационной модели механической системы МПВ.



а-принципиальная и расчетная схема; б-предложенная кинематическая схема МПВ; CD-рычаг синхронизации; AC, BD-кронштейны; AO<sub>1</sub>, BO<sub>2</sub>-рычаги вальцов; ГЦ-гидроцилиндр; ПЦ-пневматический элемент (пневмоцилиндр); РПУ-рычаг передачи усилия; DC-рычаг синхронизации раскрытия вальцов; ГР -гидрораспределитель; P<sub>нагн</sub>, P<sub>слива</sub>-давление нагнетания (рабочее) и слива; l<sub>гц</sub> и l<sub>пц</sub>-длины гидро- и пневмоцилиндра; l<sub>1</sub>, l<sub>2</sub>-длины плеч РПУ; L<sub>Рв</sub>-длина рычага вальца; S<sub>шт</sub> и S<sub>бшт</sub>-площадь поршня в штоковой и бесштоковой полости; C<sub>шт</sub>, C<sub>д</sub> и C<sub>к</sub>-жесткости соответственно пневмоцилиндра, древесины и коры; M<sub>в</sub>, M<sub>б</sub>, M<sub>Рн</sub>-массы соответственно вальца, бревна, рычага вальца; K<sub>к</sub>, K<sub>д</sub> – коэф. демпфирования коры и древесины; D<sub>б</sub>-диаметр бревна; V<sub>б</sub>-скорость подачи; O<sub>в</sub> и O<sub>п</sub>-центры верхнего и нижнего вальцов; F-сила подачи конвейера; Xl-перемещение бревна; r-радиус вальца; R<sub>он</sub>-сила реакции на валу нижнего вальца; R<sub>ов</sub>-сила реакции на валу верхнего вальца; P<sub>д</sub>-усилие на оси вращения верхнего рычага вальца; P<sub>в</sub>-усилие на оси вращения нижнего рычага вальца; H-расстояние между осями вращения рычагов вальцов

Рисунок 1 – Схема механизма подачи с МПВ

Отличительной особенностью предложенной конструкции было использование для центрирования бревна вальцами не секторного механизма, как у станков унифицированной гаммы, а рычага синхронизации (рисунок 1а). Реализация предложенной конструкции была выполнена в среде Simulink+Simscap в виде имитационной модели, на которой выполнялись исследования. Соединение рычага синхронизации непосредственно с рычагами валь-

цов не обеспечивало точное центрирование бревна относительно ротора по причине нелинейности перемещений рычажной системы конструкции. Для решения проблемы было предложено соединение рычага синхронизации через кронштейны, расположенные под углом к рычагам вальцов. Это усложняло задачу, но позволяло найти кинематические параметры, при которых достигалось минимальное отклонение оси симметрии от центра вращения ротора при разведении-сведении вальцов.

В завершении задачи на этом этапе была выполнена постановка задачи оптимального проектирования параметров МПВ.

В качестве критерия оптимальности  $W$  принята сумма квадратов  $g$  отклонений  $\Delta S$  оси симметрии вальцов в процессе разведения-сведения, измеренных через определенный  $k$ -й шаг. Формальная запись критерия оптимизации, представляющего собой целевую функцию  $W$ , имеет следующий вид:

$$W = \sum_{k=1}^g \Delta S_k^2. \quad (1)$$

Для решения задачи сформирован вектор управляемых параметров модели:

$$X = [X_1, X_2, X_3, X_4, X_5], \quad (2)$$

где  $X_1$  - угол наклона рычага вальцов  $\beta$ , град;  
 $X_2$  - длина рычага вальцов  $R$ , м;  
 $X_3$  - длина кронштейнов  $AC=DB$  рычага вальцов, м;  
 $X_4$  - угол наклона кронштейна верхнего рычага  $\beta_1$ , град;  
 $X_5$  - угол наклона кронштейна нижнего рычага  $\beta_2$ , град.

Формально задача оптимального проектирования кинематической схемы с использованием имитационной модели имеет вид:

$W(X) \rightarrow \min, \quad X \in D$ , где  $D$  – область допустимых значений управляемых параметров при ограничениях:

$$\begin{aligned} 55^\circ < X_1 < 65^\circ; \\ 0,4 < X_2 < 0,5; \\ 0,3 X_2 < X_3 < 0,6 X_2; \\ 0^\circ < X_4 < 40^\circ; \\ 90^\circ < X_5 < 180^\circ; \\ R \cos \beta > D_{\text{бmax}}/3. \end{aligned} \quad (3)-(8)$$

В терминах нелинейного программирования задача звучит следующим образом: в области допустимых значений следует найти вектор управляемых параметров (2) имитационной модели, удовлетворяющий ограничениям (3)-(8) и минимизирующий целевую функцию (1).

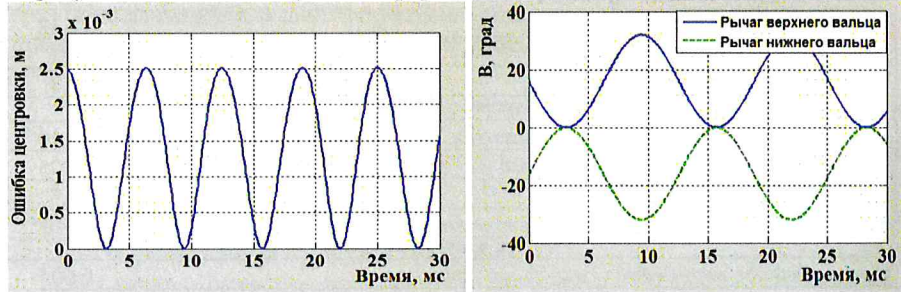
По критерию минимизации ошибки центрирования бревна средствами MatLab были найдены оптимальные параметры (таблица), обеспечивающие минимальное (не более 2,5 мм) смещение оси симметрии при разведении-сведении вальцов (рисунок 2), а также все технологические и конструктивные требования к механизму подачи.

Рекомендуемые параметры и исходные данные для проектирования МПВ с пневмогидроприводом

Наименование параметра	Значение
Гидроцилиндр	
Эффективная площадь бесштоковой полости ГЦ, м <sup>2</sup>	0,0028
Эффективная площадь штоковой полости ГЦ, м <sup>2</sup>	0,0021
«Паразитный» объём бесштоковой полости, м <sup>3</sup>	1,0×10 <sup>-4</sup>
«Паразитный» объём штоковой полости, м <sup>3</sup>	1,0×10 <sup>-4</sup>
Характерный размер сечения каналов подвода и отвода масла, м <sup>2</sup>	5,0×10 <sup>-4</sup>
Ход поршня, м	0,22
Жёсткость штока ГЦ, Н/м	1,0×10 <sup>6</sup>
Демпфирование штока ГЦ, Н/(м/с)	150
Давление нагнетания, МПа	12,32
Давление в сливном канале, МПа	0,1
Показатель адиабаты ГЦ	1,4
Гидрораспределитель	
Максимальная площадь канала золотника, м <sup>2</sup>	5,0×10 <sup>-5</sup>
Максимальный ход штока золотника, м	0,005
Коэффициент расхода	0,7
Характерная площадь, определяющая утечки, м	1,0×10 <sup>-12</sup>
Рабочая жидкость (масло)	
Относительное содержание газа, %, не более	0,005
Рабочая температура, °С	60
Критическое число Рейнольдса	12
Фактор снижения нормы вязкости	1
Кинематика и пневмоэлемент	
Длина кронштейна рычага вальца $AC=DB$ , м	0,17(±0,05)
Коэффициент демпфирования ПЦ, Нс/м	10(±0,03)10 <sup>-1</sup>
Коэффициент жесткости ПЦ, кН/м	160(±2)
Длина ПЦ без нагрузки, м	0,41(±0,01)
Наклон РПУ в начальном положении, град относительно оси симметрии	21,9
Длина РПУ, м	0,4(±0,03)
Соотношение плеч РПУ	1/3
Начальный угол положения ПЦ относительно ГЦ, рад	0(±0,01)
Ход штока пневмоцилиндра, м	0,22 (±0,01)
Длина рычага синхронизации $DC$ , м	1,13
Угол наклона рычага вальца $\beta$ , град	59,17
Длина рычага вальцов $AO_1=BO_2$ , м	0,46
Угол наклона кронштейна рычага верхнего вальца $\beta_1$ , град	34
Угол наклона кронштейна рычага нижнего вальца $\beta_2$ , град	146
Расстояние между осями подвеса рычагов вальцов, м	1,26
Расчетные максимальные нагрузки для проектирования	
На валу верхнего вальца, Н	1068,44
На валу нижнего вальца, Н	2094,50
На штоке поршня пневмоцилиндра, Н	2388,80
На оси подвеса верхнего рычага вальца, Н	8413,15
На оси подвеса нижнего рычага вальца, Н	7075,79

Развитием модели кинематической схемы МПВ было введение в ее описание масс, жесткостей, демпфирующих свойств и других параметров. В результате была получена модель механической системы МПВ с возможностью исследования кинематических и динамических характеристик механизма.

**Третья** глава посвящена разработке гидропривода. Разработка выполнялась в два этапа. На первом этапе выполнялся синтез гидравлической системы в среде Simulink+SimHydraulics. Следующим этапом было объединение в Simulink моделей механической системы прижима вальцов и гидравлической системы. Конструктивная схема пневмогидропривода МПВ показана на рисунке 3. Обобщенная модель гидропривода в Simulink-формате приведена на рисунке 4, а на рисунке 5 показана визуальная форма имитационной модели гидросистемы.

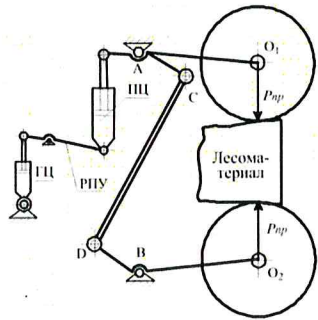


а) б)

а – смещение оси симметрии вальцов; б – график перемещения вальцов

Рисунок 2 - Процесс разведения-сведения вальцов

Одной из важнейших характеристик гидропривода (ГП) является его быстродействие. В предложенной конструкции для повышения быстродействия предусмотрено использование рычага передачи усилия (РПУ), который позволяет выбрать необходимые соотношения усилий и скорости рабочего органа.



ПЦ – пневмоцилиндр; ГЦ – гидроцилиндр; РПУ – рычаг передачи усилия

Рисунок 3 – Конструктивная схема пневмогидропривода МПВ

Скорость движения штока ГЦ зависит от площади поршня, давления в гидросистеме. С этими параметрами связано усилие, развиваемое на штоке, которое подбирается по нагрузке на рабочий орган (прижим вальцов) и с учетом соотношения плеч рычага вальца. Решение такой задачи потребовало проведения оптимизации параметров по критерию быстродействия гидропривода на тестовые воздействия. Оптимизация ГП выполнялась по 14 параметрам, рассчитанные значения которых приведены в таблице. В модели гидропривода учитываются различные нелинейности (люфты, дисбаланс, запаздывание), что позволяет достаточно точно исследовать

работу механизма. Графики перемещений штока ГЦ в процессе разведения вальцов при тестовых воздействиях и различных значениях нагрузок приведены на рисунке 6.

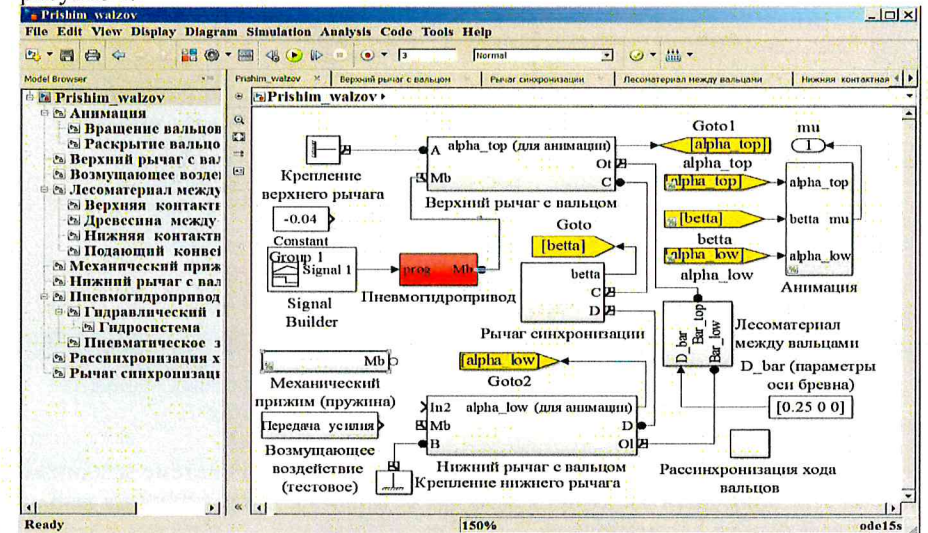


Рисунок 4 – Визуальная форма в Simulink обобщенной модели МПВ

**В четвертой** главе изложены результаты выполнения численных экспериментов по исследованиям процесса подачи лесоматериала, включающим следующие задачи:

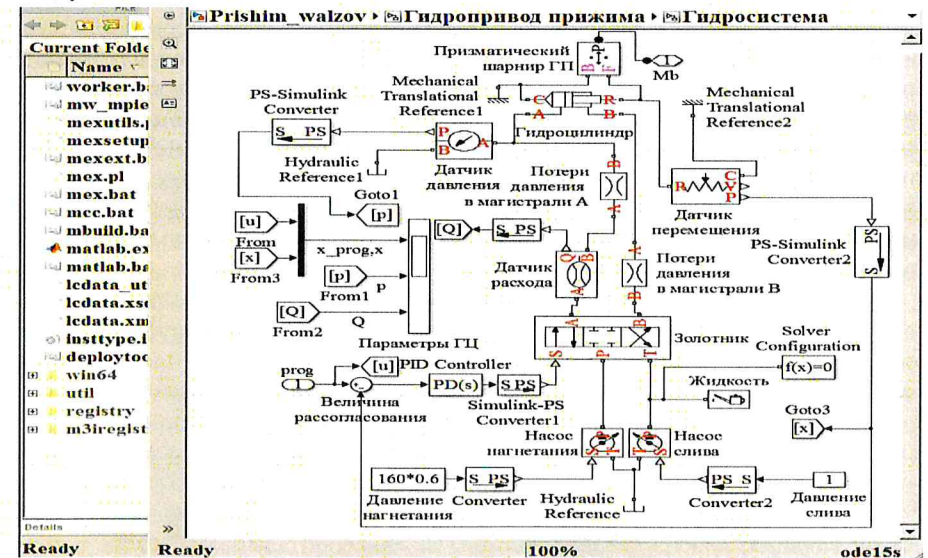


Рисунок 5 – Визуальная модель гидросистемы в Simulink-формате

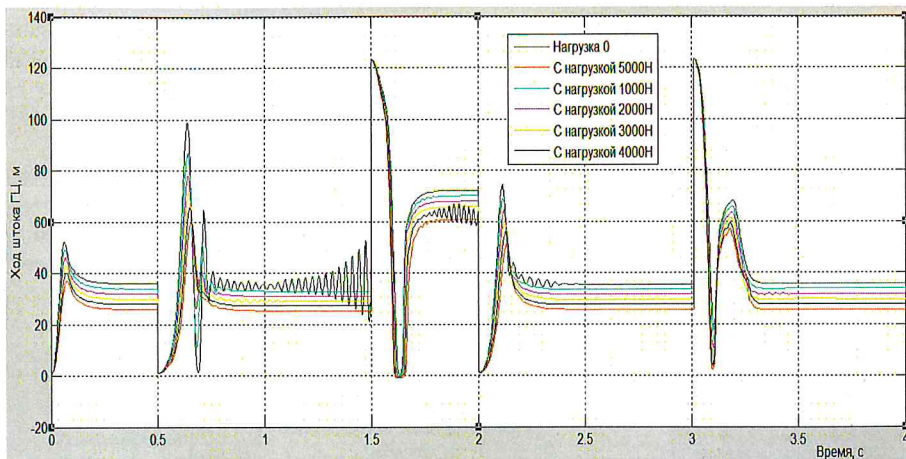


Рисунок 6 – Исследования конструкции при тестовых воздействиях. Процессы перемещений штока ГЦ при различных нагрузках

- разработка имитационной модели лесоматериала в системе механизма подачи, позволяющей моделировать в среде Simulink воздействия на вальцы в процессе окорки лесоматериала;

- получение математического описания продольного микропрофиля поверхности бревна;

- выполнение численного эксперимента по исследованию процесса подачи на станке с пневмогидроприводом МПВ и проверка адекватности теоретических моделей механизма.

Для обеспечения численного моделирования реального процесса окорки на станке типоразмера ОК-63 была разработана имитационная модель лесоматериала в системе механизма подачи. В Simulink-формате она приведена на рисунке 7. В модели лесоматериал, представленный многослойной системой, расположен между вальцами, а свободным концом - на подающем транспортере. В контактной зоне обоих вальцов учитываются параметры жесткости и демпфирования слоя коры, древесины. В процессе подачи моделируется изменение толщины ствола в соответствии с размерно-качественными характеристиками лесоматериала.

Для выполнения численного эксперимента и моделирования толщины ствола с микропрофилем поверхности использованы эмпирические функции расстояния нижней  $Y_n$  и верхней  $Y_v$  поверхности от оси симметрии механизма подачи, описывающие продольный микропрофиль поверхности лесоматериала на пути  $X$  перемещения вальца вдоль лесоматериала:

$$Y_n = p_1 x^9 + p_2 x^8 + p_3 x^7 + p_4 x^6 + p_5 x^5 + p_6 x^4 + p_7 x^3 + p_8 x^2 + p_9 x + p_{10}, \quad (9)$$

где  $p_1 = 9,214e^{-13}$ ;  $p_2 = -4,114e^{-10}$ ;  $p_3 = 7,668e^{-8}$ ;  $p_4 = -7,754e^{-6}$ ;  
 $p_5 = 0,0004636$ ;  $p_6 = -0,01677$ ;  $p_7 = 0,3586$ ;  $p_8 = -4,114$ ;  $p_9 = 17,74$ ;  $p_{10} = 253$ .

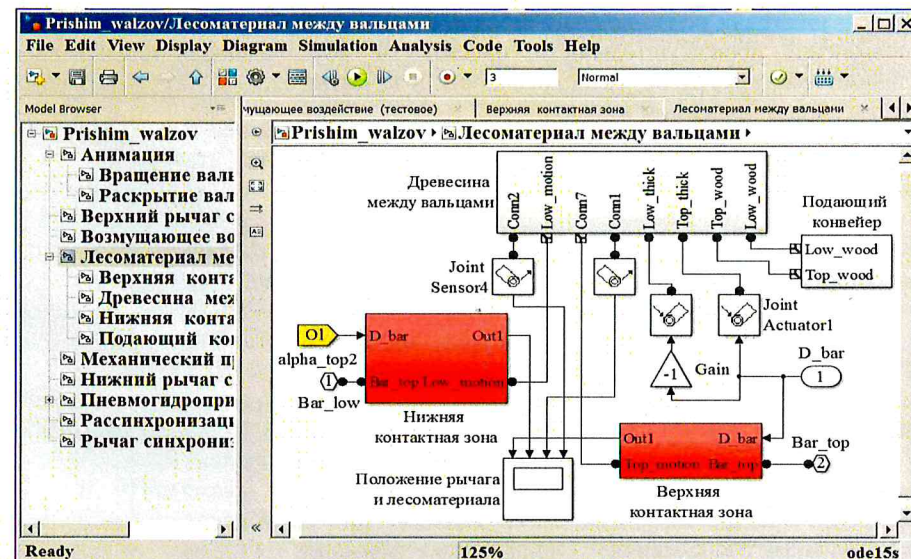


Рисунок 7 – Имитационная модель лесоматериала в системе механизма подачи

$$Y_n = p_1 x^9 + p_2 x^8 + p_3 x^7 + p_4 x^6 + p_5 x^5 + p_6 x^4 + p_7 x^3 + p_8 x^2 + p_9 x + p_{10}, \quad (10)$$

где  $p_1 = 2,863e^{-13}$ ;  $p_2 = -1,307e^{-10}$ ;  $p_3 = 2,507e^{-8}$ ;  $p_4 = -2,623e^{-6}$ ;  
 $p_5 = 0,0001617$ ;  $p_6 = -0,005919$ ;  $p_7 = 0,1234$ ;  $p_8 = -1,361$ ;  $p_9 = 6,403$ ;  $p_{10} = 271,9$ .

При исследованиях на модели в процессе подачи вальцы копируют поверхность лесоматериала с заданным от гидроцилиндра усилием прижима. На вход имитационной модели лесоматериала подается сигнал, описываемый уравнениями (9),(10). Воздействия на вальцы от микронеровностей со стороны ствола демпфируются пневмоцилиндром. В результате численного эксперимента установлена достаточная адекватность теоретических моделей реальному процессу. Соответствующие графики изображены на рисунке 8.

**В пятой главе** рассмотрены вопросы практического применения результатов исследований и выполнен расчет экономического эффекта. С использованием результатов проведенных исследований разработаны методика и программный комплекс проектирования пневмогидропривода механизма прижима вальцов. В структуре программного комплекса выполняются численные эксперименты работы конструкции на основе имитационных моделей, что позволяет значительно сократить сроки создания и доводки опытных образцов станков. При его использовании были рассчитаны основные параметры предложенной конструкции пневмогидропривода механизма прижима вальцов (см. таблицу). Рассчитан экономический эффект от внедрения результатов исследований, который проявляется в двух направлениях:

- на стадии проектирования за счет сокращения сроков создания новых моделей и повышения качества разработки проектов станков;

- на стадии использования станков с пневмогидроприводом МПВ за счет повышения производительности, надежности, обусловленных исключением динамических нагрузок, технологичности и качества окорки с дистанционным управлением прижимом вальцов.

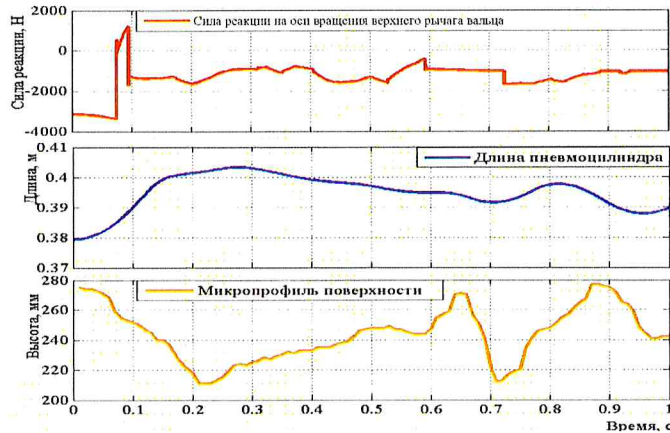


Рисунок 8 – Характеристики процесса подачи лесоматериала в конструкции с МПВ

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

В процессе исследований получены следующие основные результаты, выводы и рекомендации.

1. На основании исследований показано, что внедрение в зарубежные окорочные станки гидропривода, средств автоматики обеспечило им значительное повышение технического уровня и наибольшие конкурентные преимущества. В этой связи подтверждается правильность технической политики, проводимой ЦНИИМЭ с конца 80-х годов, по переводу унифицированной гаммы на гидропривод подачи, и со всей очевидностью возникает необходимость возобновления соответствующих научно-исследовательских работ.

2. Предложено конструктивное решение кинематической схемы МПВ с пневмогидроприводом и устройством синхронизации, которое обеспечивает достаточную точность центрирования лесоматериала относительно ротора, а на станке может использоваться в любом исполнении: в качестве механического прижима, механизма с ручным управлением, с простейшим регулированием положения поршня ГЦ в зависимости от диаметра бревна, а также с автоматически управляемым пневмогидроприводом на основе САУ следящего типа.

3. Разработана имитационная модель кинематики механической системы прижима вальцов, которая позволяет исследовать работу конструкции и при проектировании рассчитывать кинематические параметры механизма прижима.

4. Выполненная постановка задачи оптимального проектирования кинематических параметров, предложенный алгоритм и компьютерная реализация алгоритма в программе могут использоваться для разработки механизмов при-

жима вальцов при проектировании станков унифицированной гаммы. Полученные в результате расчетов оптимальные параметры (см. таблицу) обеспечивают при раскрытии вальцов минимальное отклонение центра симметрии вальцового механизма от оси вращения ротора.

5. Для учета действующих в системе сил, инерционных нагрузок, динамики процесса подачи лесоматериала предложена модель механической системы прижима вальцов, предназначенная для исследований работы и проектирования МПВ окорочных станков.

6. Разработана имитационная модель гидропривода МПВ, которая позволяет исследовать работу конструкции и при проектировании рассчитывать параметры элементов гидросистемы и кинематической схемы механизма.

7. Разработана имитационная модель лесоматериала в системе механизма подачи и модель микропрофиля поверхности ствола, позволяющие моделировать в среде Simulink воздействия на вальцы в процессе подачи лесоматериала при численных экспериментах и проектировании станков.

8. Разработаны методика и программный комплекс проектирования пневмогидропривода МПВ. Программный комплекс в среде Simulink приложения MatLab-7 позволяет реализовать технологию полунатурного эксперимента при доводке опытных образцов роторных окорочных станков. Рассчитанные на программном комплексе по результатам исследований рекомендуемые параметры МПВ с пневмогидроприводом приведены в таблице.

9. При работе станка с механизмом подачи оснащенного пневмогидроприводом МПВ обеспечивается снижение динамических нагрузок до 30 % при захвате бревна, повышение надежности подачи, соответственно качества окорки, появляется возможность повышения скорости подачи лесоматериала в 2-3 раза, следовательно, производительности станка, расширения технологических возможностей за счет дистанционного управления прижимом вальцов.

10. Перспективой дальнейшего совершенствования предложенной конструкции является оснащение МПВ системой автоматического управления, что в данном случае не требует каких-либо изменений в кинематической схеме, в конструктивном решении или габаритных размерах.

11. Применение программного комплекса при проектировании обеспечивает экономическую эффективность не менее 203 тыс. руб. на одну модель станка. Использование в производстве окорочных станков с механизмом подачи оснащенного пневмогидроприводом прижима вальцов, обеспечивает повышение надежности, производительности в 1,3 раза, а расчетный экономический эффект от внедрения результатов исследований, составляет 209,2 тыс. руб. на станок в год.

Основные научные результаты диссертации опубликованы в следующих работах.

### 1. Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Побединский В.В., Попов А.И., Василевский Д.А. Нечеткая модель управления пневмогидроприводом короснимателя роторного окорочного станка // Вестник КрасГАУ. №8(83). –Красноярск: КрасГАУ, 2013. –С.19-23.

2. Побединский В.В., Попов А.И., Василевский Д.А. Моделирование работы