



Швец Алексей Васильевич

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УНИФИЦИРОВАННОГО
ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО МАНИПУЛЯТОРНОГО
ПОГРУЗЧИКА**

Специальность 05.21.01 – Технология и машины лесозаготовок
и лесного хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2011

Работа выполнена на кафедре технологии и оборудования лесопромышленного производства ГОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Добрачев Андрей Андреевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
Силуков Юрий Дмитриевич

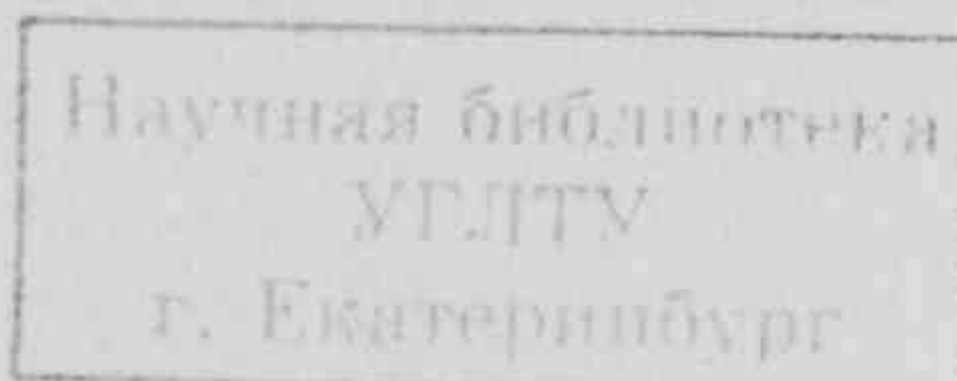
кандидат технических наук
Дорохов Сергей Петрович

Ведущая организация: ГОУ ВПО «Санкт-Петербургская
государственная лесотехническая
академия»

Защита состоится « 22 » сентября 20 11 года в 10⁰⁰ часов, на заседании диссертационного совета Д 212.281.02 при ГОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт 37, зал заседаний – аудитория 401.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет».

Автореферат разослан « 18 » августа 20 11 г.



Учёный секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент

Кудубина Н.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Современный этап развития лесной промышленности РФ требует решения задачи комплексной механизации и автоматизации производства. Разнообразие машин для выполнения лесосечных операций, сортировочных, штабелевочных, погрузочных операций нижнескладских работ, для подачи сырья в перерабатывающие цехи и пакетирования готовой продукции приводит к повышению затратности производства, вовлечению в эти операции излишних мощностей и ручного труда.

Для создания современного гибкого технологического процесса требуется разработка унифицированных транспортно-перегрузочных устройств. Этим требованиям в наибольшей степени отвечают промышленные манипуляторы и манипуляторные машины. Общей особенностью манипуляторов является низкая металлоемкость, простота обслуживания и наличие широкого набора сменных рабочих органов, что позволяет использовать их практически на любых операциях технологического процесса лесной промышленности.

Развитие манипуляторных систем в лесной промышленности идет путем создания специальных манипуляторов для отдельных операций. Проблема создания унифицированного лесопромышленного манипуляторного погрузчика (УЛМП) требует обоснования технологических, конструктивных и силовых параметров, а также технологий его применения в лесном комплексе.

Поэтому тема диссертационной работы, направленная на обоснования возможности замены в лесном комплексе существующей номенклатуры погрузочно-транспортного оборудования путем внедрения УЛМП и стационарных манипуляторов является актуальной.

Цель исследования. Обоснование параметров унифицированного лесопромышленного манипуляторного погрузчика, обеспечивающего выполнение большей части подъемно-переместительных операций лесного комплекса.

Объект исследования. Операции технологического процесса лесопромышленного производства.

Предмет исследования. Кинематические схемы, технологические и технические параметры унифицированного лесопромышленного манипуляторного погрузчика, параметры технологических процессов.

Методы исследования. Регрессионный анализ, натурные экспериментальные исследования, математическое моделирование, технологический анализ, технико-экономическое сравнение.

Обоснованность и достоверность результатов исследования подтверждается адекватностью полученных моделей, базирующихся на значительном экспериментальном материале, а также хорошей сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований. Результаты исследований обработаны общепринятыми методами математической статистики, а полученные регрессионные модели достаточно точно воспроизводят технологический процесс погрузки круглых лесоматериалов.

Реализация работы. Результаты исследований использованы при разработке унифицированных лесопромышленных манипуляторных погрузчиков «АМКОДОР 2661-02», совместная разработка ОАО «Амкодор» (г. Минск, Республика Беларусь), ООО «Велмаш-С» (г. Великие Луки) и УГЛТУ (г. Екатеринбург) и «Felix 180 6 WD», совместная разработка «Pfanzelt-Maschinenbau GmbH» (г. Реттенбах, Германия) и УГЛТУ (г. Екатеринбург), а также при проведении научно-исследовательских работ

по госконтракту с правительством Свердловской области. Методики могут применяться при разработке новых моделей унифицированных лесопромышленных манипуляторных погрузчиков для лесных грузов на машиностроительных предприятиях.

Основные научные положения и результаты исследования, выносимые на защиту.

1. Геометрические параметры унифицированного манипулятора, определенные на основе анализа обобщенной рабочей зоны на подъемно-переместительных операциях с лесными грузами.

2. Обоснование рациональной кинематической схемы и вылета унифицированного лесопромышленного манипуляторного погрузчика.

3. Методика и исследование условий устойчивости манипуляторных колесных погрузчиков при суммарном воздействии статических и динамических нагрузок.

4. Технология и организация лесосечных работ с применением унифицированного лесопромышленного манипуляторного погрузчика, снижающая технологические простои рабочих и оборудования.

Научная новизна работы. Обоснованы координаты обобщенной рабочей зоны грузоподъемных операций на всех фазах лесопромышленного производства.

Разработан механизм для выдвижения телескопической секции рукояти манипулятора, позволяющий упростить конструкцию привода дополнительной секции рукояти манипулятора и увеличить скорость ее выдвижения, а следовательно, повысить производительность манипулятора.

Теоретически обоснованы основные рациональные параметры манипулятора для лесных грузов: кинематическая схема и вылет, а также габариты унифицированной пневмоколесной манипуляторной машины.

Предложена технология лесосечных, лесоскладских работ и транспорта леса, позволяющая эффективно замещать традиционную технологию инновационной на базе унифицированного лесопромышленного манипуляторного погрузчика.

Практическая значимость работы. Созданная методика определения основных кинематических, силовых и технологических параметров манипуляторных машин позволит разработать унифицированный лесопромышленный манипуляторный погрузчик для лесных грузов, заменить им большую номенклатуру устаревшего лесосечного и лесоскладского оборудования.

Разработанный механизм для выдвижения телескопической секции рукояти манипулятора позволит повысить производительность манипулятора.

Применение манипуляторного погрузчика на трелевке, погрузке, сортировке, штабелевке, подаче лесоматериалов в цехи и отгрузке готовой продукции потребителям позволит оптимизировать загрузку технологического оборудования.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Полученные научные результаты соответствуют п. 3 «Разработка операционных технологий и процессов в лесопромышленном и лесохозяйственном производствах: заготовительном, транспортном, складском, обрабатывающем, лесовосстановительном и др.» и п. 5 «Обоснование и оптимизация параметров и режимов работы лесозаготовительных и лесохозяйственных машин» области исследований паспорта специальности 05.21.01 – «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства».

Личный вклад автора. Все работы по теме диссертации (разработка математических моделей, обобщение результатов предыдущих исследований, сбор, обработка и анализ экспериментальных материалов) осуществлены автором лично или при его непосредственном участии и руководстве.

Апробация работы. Основные положения и результаты исследований были доложены и обсуждены на: Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов (УГЛТУ) в 2008, 2009 и 2010 гг.; Международной научно-технической конференции: «Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса в рамках концепции 2020» (УГЛТУ) в 2009 г.; Международном евразийском симпозиуме «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века» (УГЛТУ) в 2008, 2009 и 2010 гг. Положение по заготовке древесины с использованием унифицированного лесопромышленного манипуляторного погрузчика демонстрировалось на международных выставках «Иннопром-2010» (г. Екатеринбург) и «Лесдревмаш-2010» (г. Москва), областном молодежном инновационном форуме «МIF-2010» (г. Екатеринбург) и VI межрегиональной выставке «Леспромбизнес. Деревообработка. Деревянный дом. Дерево в интерьере» (г. Екатеринбург).

Публикации. Основные положения и результаты диссертационной работы опубликованы в 19 печатных работах, в том числе в 2 зарубежных изданиях, в 5 изданиях, рекомендованных ВАК РФ и одном патенте на полезную модель (№ 92857).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных выводов и рекомендаций, списка использованных источников литературы, включающего 163 наименования, в том числе 11 наименований зарубежных авторов. Имеет общий объем 261 машинописную страницу, содержит 71 рисунок, 31 таблицу, 4 приложения.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, показана научная и практическая значимость результатов исследований, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертационной работы выполнен обзор технических параметров манипуляторов и приведена их авторская систематика, проведен обзор и анализ научных работ, посвященных исследованиям лесных манипуляторных машин.

Обоснованием основных параметров манипуляторного технологического оборудования лесных машин занимались Акулов Г.А., Алябьев В.И., Андреев В.Н., Баринов К.Н., Герасимов Ю.Ю., Гузюк С.П., Емтыль З.К., Жавнер В.Л., Иевинь И.К., Кильпеляйнен С.А., Костюкевич В.М., Крамской Э.И., Люманов Р., Малышев Ю.В., Панычев А.П., Розинь Т.Я., Сюнев В.С., Татаренко А.П., Шимкович Д.Г., Якимович С.Б., Lee C.S.G. Авторами разработаны методы и модели обоснования основных параметров манипуляторного технологического оборудования с учетом различных факторов. При этом авторами в моделях не учитываются зависимости параметров манипулятора от габаритов и устойчивости базовой машины, а также отсутствует сравнительный анализ рабочих зон по различным грузоподъемным операциям в лесном комплексе с рациональной компоновочной схемой манипулятора.

О необходимости создания унифицированного манипулятора для выполнения строительных, лесохозяйственных, сельскохозяйственных, сплавных и прочих операций, в своих работах указывали Анисимов С.Е., Игнатов В., Колобов Е., Короткий О., Савельев С.В. Вместе с тем ими учтены не все операции технологического процесса, при этом недостаточно точно учтен способ выполнения отдельных операций лесосечных работ, а унифицированность конструкции их манипуляторов сводится, в основном, к снабжению его сменными рабочими органами.

По результатам анализа литературных источников и в соответствии с целью диссертационной работы сформулированы следующие задачи исследований:

- обоснование обобщенной рабочей зоны манипулятора на подъемно-переместительных операциях с лесными грузами;
- обоснование рациональных параметров унифицированного лесопромышленного манипуляторного погрузчика;
- исследование производительности процесса погрузки круглых лесоматериалов манипулятором, выявление наиболее значимых факторов и их взаимосвязи;
- организация работы бригады, с применением унифицированного лесопромышленного манипуляторного погрузчика, снижающая технологические простои рабочих и оборудования;
- технико-экономическая оценка применения УЛМП в лесном комплексе.

Во второй главе приведены результаты исследования рабочих зон технологических операций с лесными грузами, обоснована кинематическая схема лесного манипулятора, вылет и параметры базовой части машины.

Кинематические звенья – стрела и рукоять манипулятора в процессе работы могут совершать как вращательные, так и поступательные перемещения, или их комбинации, совокупность которых дает различные кинематические схемы манипуляторов.

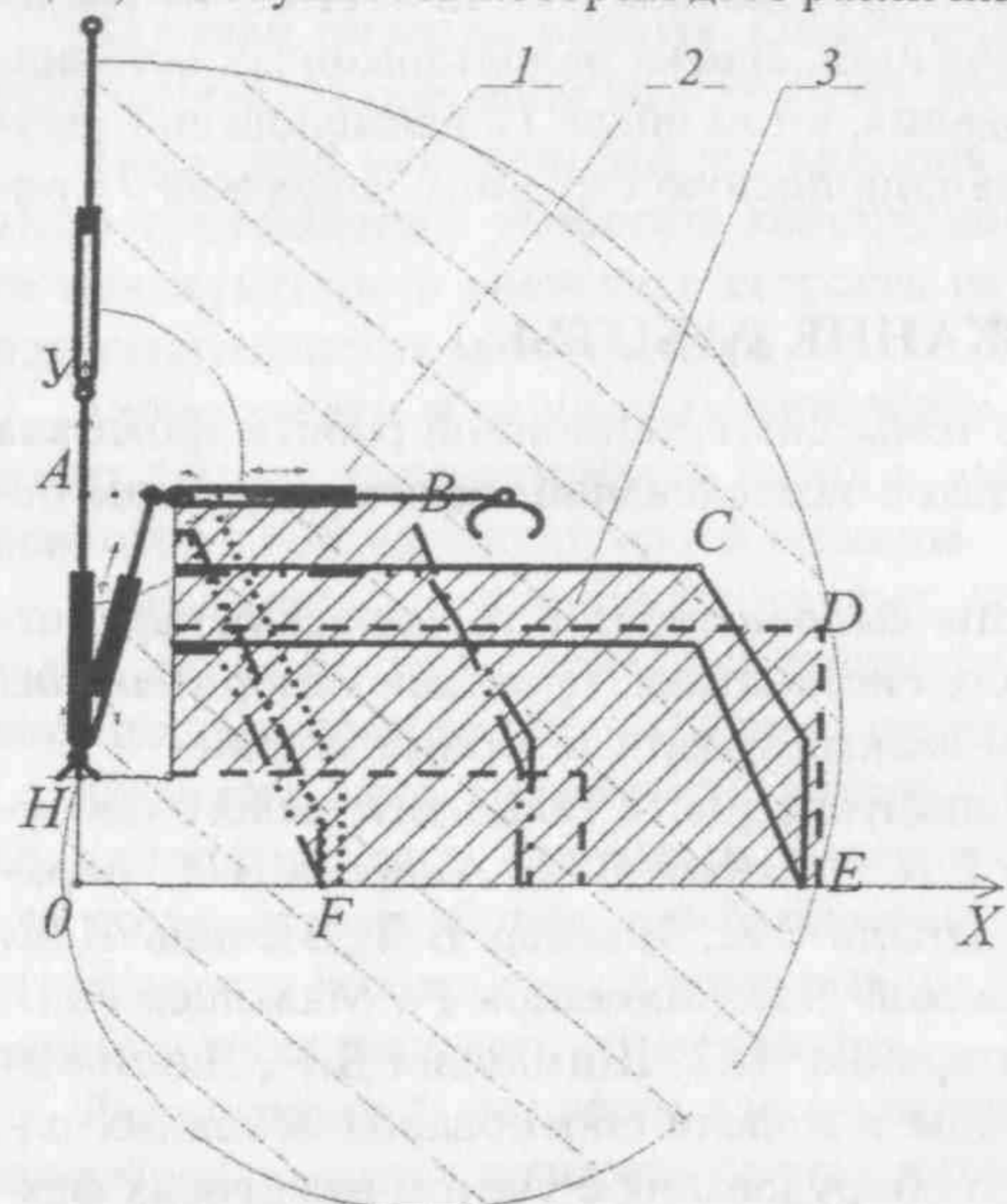


Рис. 1. Сопоставление рабочих зон манипуляторов с обобщенной рабочей зоной по операциям с лесными грузами (разрез, правая часть): 1 – рабочая зона манипулятора общего назначения; 2 – кинематическая схема манипулятора; 3 – обобщенная рабочая зона; — — — — рабочая зона на погрузке хлыстов в автопоезда; — · · — рабочая зона на погрузке сортиментов в автопоезда; - - - - рабочая зона на сортировке КЛМ; · · · · · — рабочая зона на погрузке пакетов пиломатериалов в вагоны РЖД при их расположении вдоль оси погрузчика; — · · — — рабочая зона на погрузке пакетов пиломатериалов в вагоны РЖД при их расположении поперек оси погрузчика

В процессе погрузочно-переместительных операций лесные грузы перемещаются в определенных рабочих зонах. Рабочая зона представляет собой множество точек в пространстве, в котором перемещается груз.

Исследованы рабочие зоны манипулятора на погрузке хлыстов и сортиментов в автопоезда, сортировке и штабелевке круглых лесоматериалов, погрузке пакетов пиломатериалов в вагоны РЖД при их расположении поперек и вдоль оси погрузчика.

Графическое положение исследованных рабочих зон по операциям позволили создать обобщенную модель рабочей зоны и выявить координаты ее экстремальных точек (рис. 1) (A, B, C, D, E, F, G, H): A ($x = 0$; $y = h_b + h_{nmax}$), B ($x = (b_a - l_{nmax})/2$; $y = h_b + h_{nmax}$), C ($x = \frac{b_a}{2} + \frac{l_{nmax}}{3}$; $y = h_a + h_{xn}$), D ($x = \frac{l_{nn}}{2} + a$; $y = h_{nn} + h_c$), E ($x = \frac{l_{nn}}{2} + a$; $y = 0$), F ($x = b_a/2 + \frac{b_{wmin}}{2} + a$; $y = 0$), G ($x = \frac{b_a}{2}$; $y = h_k$), H ($x = 0$; $y = h_k$),

где h_k – высота закрепления стрелы манипулятора, h_b – высота вагона, h_{nmax} – максимальная высота пакета пиломатериалов, b_a – ширина автопоезда, l_{nmax} – максимальная длина пакета пиломатериалов, l_{xn} – длина хлыстов, h_a – высота автопоезда, h_{xn} – максимальный диаметр хлыста, l_{nn} – длина лесонакопителя, a – расстояние между автопоездом и штабелем, h_{nn} – высота лесонакопителя, h_c – максимальный диаметр сортимента, b_{wmin} – минимальная ширина штабеля.

Из сопоставления рабочих зон шестнадцати серийных кинематических схем манипуляторов с обобщенной рабочей зоной работ с лесными грузами определены наиболее перспективные для лесного комплекса кинематические схемы. В частности это схемы, в которой стрела и рукоять совершают вращательные и поступательные перемещения, а также в которой стрела вращается и не выдвигается, рукоять совершает и вращательные и поступательные перемещения (рис. 1).

С целью определения скоростей и ускорений рабочих органов манипуляторов рассмотрены общие законы движения точки подвеса захвата манипулятора в координатной системе при различных сочетаниях узлов механизма «стрела-рукоять».

На рис. 2,а представлена кинематическая схема манипулятора, имеющего максимально возможные вариации перемещения его звеньев стрела-рукоять. По схеме (рис. 2,б) l_1 – длина стрелы OA; l_2 – длина рукояти AB; т. O – точка крепления стрелы к колонне; A – шарнир между рукоятью и стрелой; B – шарнир подвески захвата; φ , ψ – углы, определяющие положение звеньев.

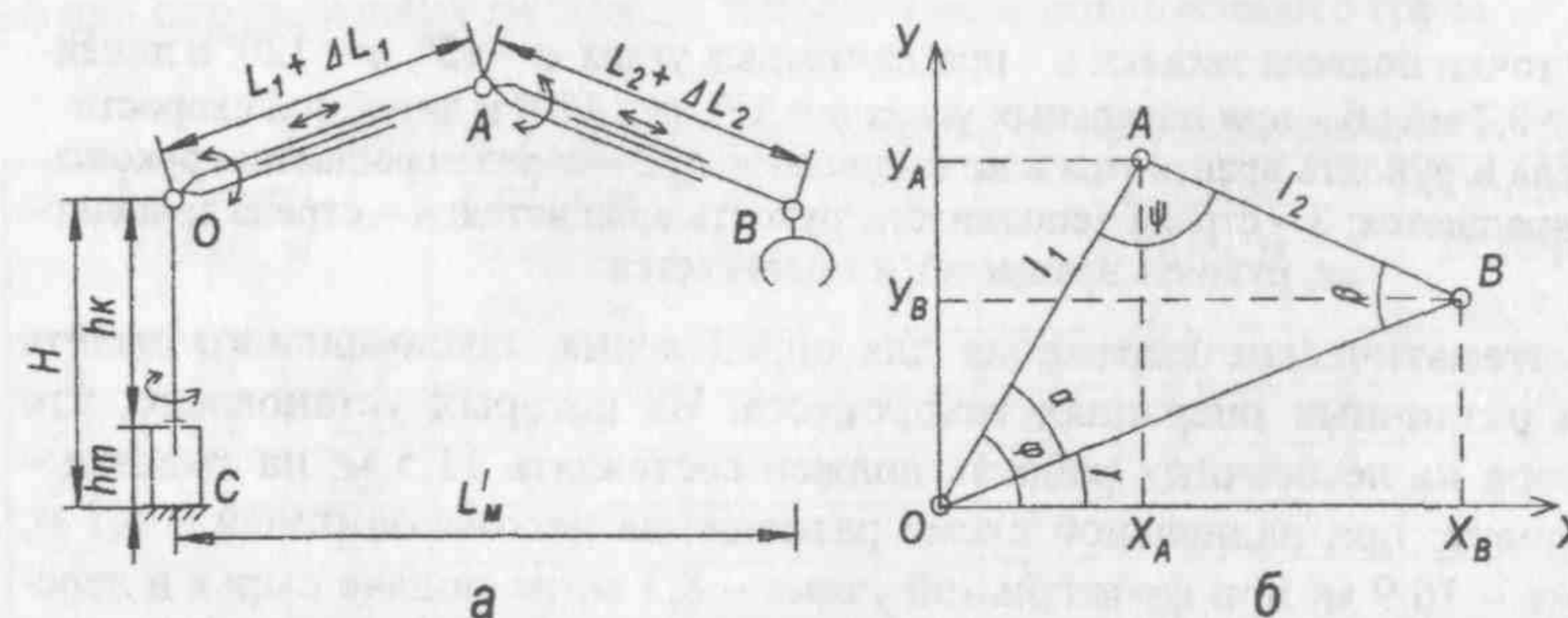


Рис. 2. Схема манипуляторного механизма: а – кинематическая схема; б – расчетная схема

Рассмотрим в явной форме законы движения точки подвеса захвата манипулятора B в плоскости XOY – плоскости подъема и опускания груза. Параметрическое уравнение движения точки B в системе координат представляет собой зависимость $X_B(t)$ и $Y_B(t)$. Тогда координаты точки B:

$$\begin{cases} X_B = l_1 \cdot \cos \varphi + l_2 \cdot \cos(\pi - \varphi - \psi) = l_1 \cdot \cos \varphi - l_2 \cdot \cos(\varphi + \psi) \\ Y_B = l_1 \cdot \sin \varphi - l_2 \cdot \sin(\pi - \varphi - \psi) = l_1 \cdot \sin \varphi - l_2 \cdot \sin(\varphi + \psi) \end{cases} \quad (1)$$

Дважды дифференцируя выражение 1 по времени получим ускорение точки подвеса груза B относительно осей X, Y. После подстановки значений ускорений точки B по осям X, Y в уравнение ускорения точки подвеса захвата: $a_B = \sqrt{(X_B'')^2 + (Y_B'')^2}$ и преобразований, получим ускорение точки подвеса захвата B для общего случая перемещения звеньев:

$$a_B = \left[\begin{aligned} &4 \cdot l_1'^2 \cdot \varphi'^2 + l_1^2 \cdot \varphi'^4 + 4 \cdot l_2'^2 \cdot (\varphi' + \psi')^2 + l_2^2 \cdot (\varphi' + \psi')^4 - \\ &- 8 \cdot l_1' \cdot \varphi' \cdot l_2' \cdot (\varphi' + \psi') \cdot \cos \psi + 4 \cdot l_1' \cdot \varphi' \cdot l_2' \cdot (\varphi' + \psi')^2 \cdot \sin \psi - \\ &- 4 \cdot l_1 \cdot \varphi'^2 \cdot l_2' \cdot (\varphi' + \psi') \cdot \sin \psi - 2 \cdot l_1 \cdot \varphi'^2 \cdot l_2 \cdot (\varphi' + \psi')^2 \cdot \cos \psi \end{aligned} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Расчеты ускорений в точке подвеса захвата проведены при линейной скорости

захвата U , изменяющейся от 0,2 до 1 м/с и начальных углах φ и ψ , изменяющихся в пределах: φ от 15° до 60° , ψ от 120° до 180° . Угловые скорости звеньев φ' и ψ' , одинаковые для стрелы и рукояти и принимают значения (0,17; 0,35; 0,52; 0,7) с^{-1} . Результаты расчетов представлены на графиках (рис. 3,а) и (рис. 3,б).

В результате моделирования движения звеньев манипулятора определен наилучший вариант совместной работы звеньев – вращение рукояти при неподвижной стреле, наихудший вариант – вращение стрелы и рукояти с возможным выдвижением рукояти.

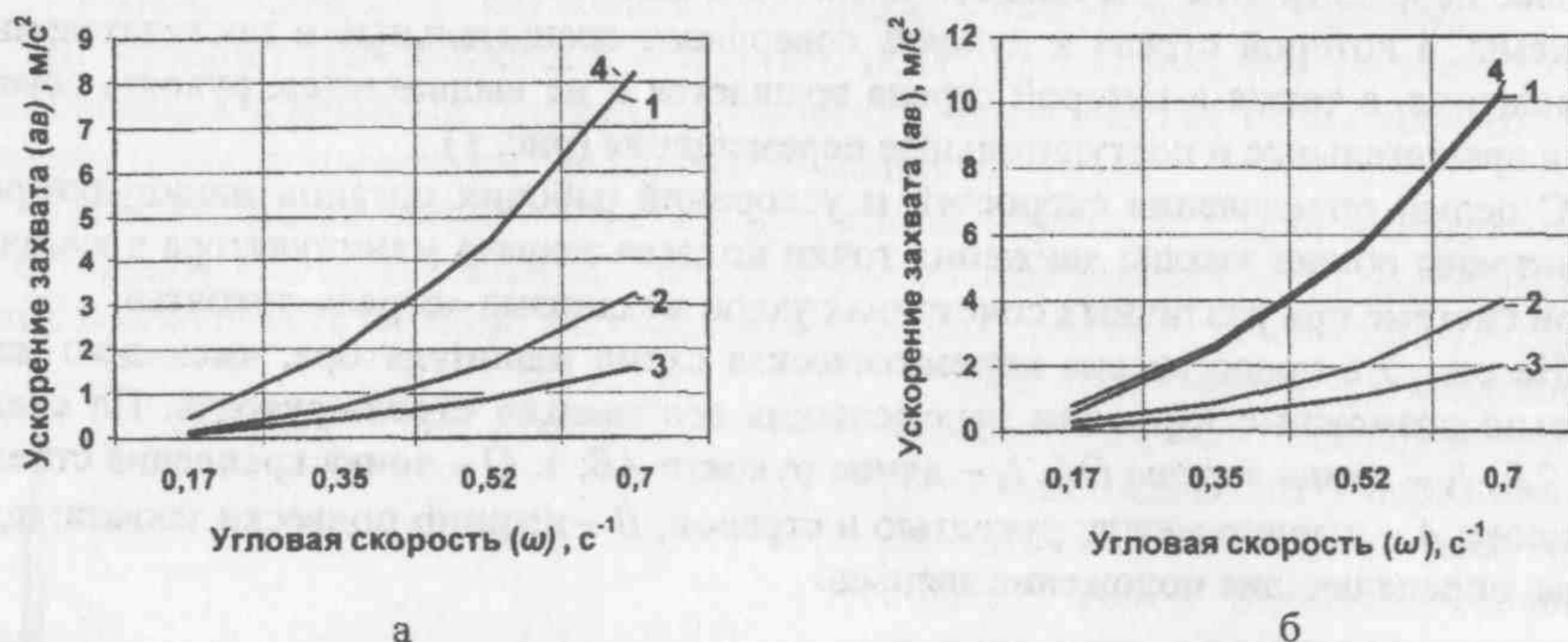


Рис. 3. Ускорения точки подвеса захвата: а – при начальных углах $\varphi = 15^\circ$, $\psi = 120^\circ$ и линейной скорости $U = 0,2$ м/с; б – при начальных углах $\varphi = 15^\circ$, $\psi = 120^\circ$ и линейной скорости $U = 1$ м/с; 1 – стрела и рукоять вращаются и не выдвигаются; 2 – стрела вращается, рукоять выдвигается и не вращается; 3 – стрела неподвижна, рукоять вращается; 4 – стрела вращается, рукоять вращается и выдвигается

Получены математические выражения для определения максимального вылета манипулятора на различных операциях техпроцесса. Из которых установлено, что вылет манипулятора на лесосечных работах должен составлять 11,5 м; на вывозке – 11,0 м; на сортировке: при радиальной схеме размещения лесонакопителей – 8,7 м, при веерной схеме – 10,9 м, при фронтальной схеме – 8,3 м; на подаче сырья в деревообрабатывающие цехи: при радиальной схеме размещения лесонакопителей – 8,7 м, при веерной схеме – 10,9 м, при фронтальной схеме – 8,3 м. Следовательно, вылет УЛМП должен составлять 11,5 м; это обеспечит ему работу на всех погрузочно-разгрузочных, транспортно-переместительных и сортировочно-штабелевочных операциях лесного комплекса.

Устойчивость против опрокидывания является одним из важнейших параметров, определяющих пригодность лесных машин для эксплуатации.

Используя уравнения движения центров тяжести отдельных элементов УЛМП, получим выражения для статической составляющей реакции опоры манипулятора и радиуса перемещения центра тяжести. При этом условно считаем, что стрела – однородный стержень, рукоять имеет телескопически выдвижные звенья, в сечении – трапеция с большим основанием – a , меньшим – b .

Свяжем систему отсчета с центром тяжести C_1 базы погрузчика. Уравнение движения центра тяжести УЛМП:

$$\begin{cases} X_C = \frac{X_1 \cdot (G_M + G_4) + X_2 \cdot G_1 + X_3 \cdot G_2 + X_4 \cdot (G_{PO} + G_r)}{G_M + G_1 + G_4 + G_2 + G_{PO} + G_r} \\ Y_C = \frac{Y_1 \cdot (G_M + G_4) + Y_2 \cdot G_1 + Y_3 \cdot G_2 + Y_4 \cdot (G_{PO} + G_r)}{G_M + G_1 + G_4 + G_2 + G_{PO} + G_r} \end{cases} \quad (3)$$

где: G_M – сила тяжести машины; G_4 – сила тяжести стойки; G_1 – сила тяжести стрелы; G_2 – сила тяжести телескопической рукояти; G_r – сила тяжести груза; G_{PO} – сила тяжести рабочих органов (ротатора и грейфера).

После преобразований системы уравнений 3 получим уравнение окружности – траектории движения центра тяжести системы

$$X_C^2 + Y_C^2 = \left(\frac{L_1 \cdot \left(\frac{G_1}{2} + G_2 + G_{PO} + G_r \right) + L_2 \cdot \left(\frac{G_2}{3} + \frac{a \cdot G_2}{3 \cdot a + 3 \cdot b} + G_{PO} + G_r \right)}{G_M + G_1 + G_4 + G_2 + G_{PO} + G_r} \right)^2, \quad (4)$$

где L_1 – длина стрелы; L_2 – длина рукояти.

Рассмотренная методика расчета устойчивости методом определения радиуса окружности динамического центра тяжести позволит подобрать габариты базовой части унифицированного лесопромышленного манипуляторного погрузчика. Для этого полученное уравнение траектории движения центра тяжести 4 проверяется на совместимость с уравнением линии опрокидывания. В случае если уравнения не имеют действительных решений, значит опрокидывания УЛМП не произойдет. Это возможно при определенных габаритах УЛМП и весе поднимаемого груза.

Таблица 1

Габариты УЛМП в зависимости от веса поднимаемого груза

Габариты УЛМП, м			Критический радиус, м	Вес груза максимальный, кН	Габариты УЛМП, м			Критический радиус, м	Вес груза максимальный, кН
Д	Ш	Ш _А			Д	Ш	Ш _А		
5,0	3,2	2,2	1,56	14	6,5	3,8	2,8	1,87	20
5,2	3,3	2,3	1,62	15	6,7	3,9	2,9	1,92	21
5,5	3,4	2,4	1,67	16	7,0	4,0	3,0	1,97	22
5,7	3,5	2,5	1,73	17	7,2	4,1	3,1	2,03	24
6,0	3,6	2,6	1,77	18	7,5	4,2	3,2	2,08	25
6,2	3,7	2,7	1,82	19	7,7	4,3	3,3	2,13	26

Примечания: D – длина; $Ш$ – ширина; $Ш_A$ – ширина с аутригерами; R – радиус окружности динамического центра тяжести.

Для уточнения условий устойчивости УЛМП исследована динамическая составляющая реакции опор. Ко всем активным внешним силам и реакциям связей добавим силы инерции. На рис. 4. приведена расчетная схема манипулятора, где $\bar{X}_A, \bar{Y}_A, \bar{Z}_A, \bar{X}_B, \bar{Y}_B, \bar{Z}_B$ – реакции опоры соответственно в точках A и B ; \bar{G}_3 – сила тяжести груза вместе с рабочими органами (грейфером и ротатором); M – момент от двигателя; ω – угловая скорость манипулятора; h_{cm} – высота стойки; h – плечо равнодействующей $\bar{\Phi}_2$ системы сил инерции, прикладываемых к рукояти; $\bar{\Phi}_1$ и $\bar{\Phi}_3$ – силы инерции.

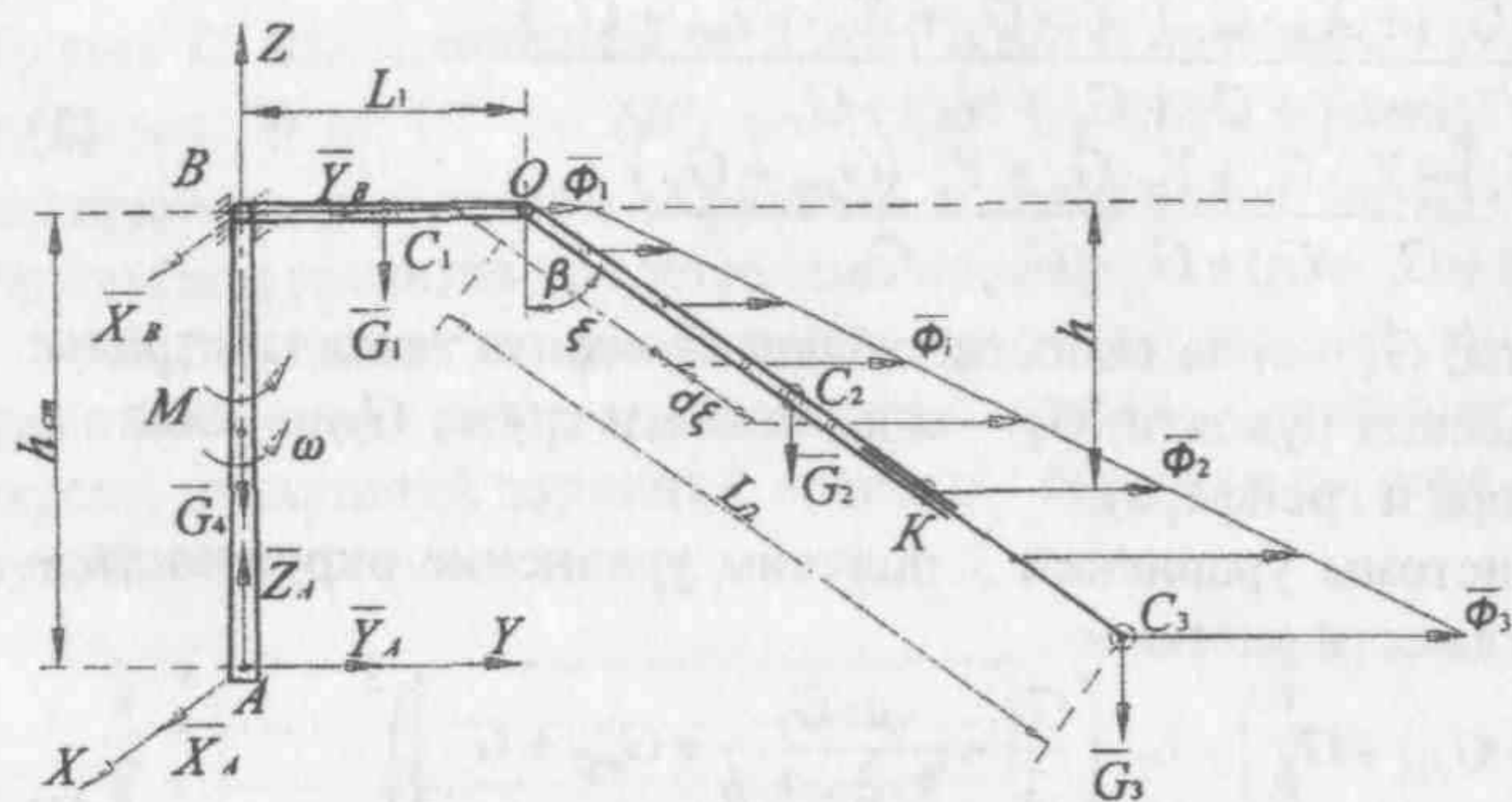


Рис. 4. Расчетная схема для определения динамической реакции опоры Y_B

где M_i – моменты активных внешних сил и реакций связей; M_i^Φ – моменты сил инерции.

Решая систему уравнений относительно Y_B получим

$$Y_B = \begin{bmatrix} -\frac{G_2}{g} \cdot \omega^2 \cdot \left(L_1 + \frac{L_2}{2} \cdot \sin(\beta) \right) \cdot \left(h_{cm} - \frac{\cos(\beta) \cdot L_2 \cdot (3 \cdot L_1 + \sin(\beta) \cdot 2 \cdot L_2)}{6 \cdot L_1 + 3 \cdot L_2 \cdot \sin(\beta)} \right) \\ -G_3 \cdot (L_1 + L_2 \cdot \sin(\beta)) - \frac{G_3}{g} \cdot \omega^2 \cdot (L_1 + L_2 \cdot \sin(\beta)) \cdot (h_{cm} - L_2 \cdot \cos(\beta)) - \\ -G_2 \cdot \left(L_1 + \frac{L_2}{2} \cdot \sin(\beta) \right) - \frac{G_1}{g} \cdot \omega^2 \cdot \frac{L_1}{2} \cdot h_{cm} - G_1 \cdot \frac{L_1}{2} \end{bmatrix} \cdot \left(\frac{1}{h_{cm}} \right). \quad (6)$$

С использованием ЭВМ построены зависимости динамической составляющей от угловой скорости ω , угла рукоятки с вертикалью β и силы тяжести груза G_3 (рис. 5-6).

Из графика (рис. 5) видно, что максимальные значения по абсолютной величине динамическая составляющая достигает при $\omega = 1$ рад/с и $\beta = 1,6$ рад (90°) и $0,3$ рад (17°) (для $L_1 = 5$ м, $L_2 = 5$ м) и $\beta = 0,6$ рад (35°) (для $L_1 = 2$ м, $L_2 = 8$ м). При горизонтальном расположении рукоятки ($\beta = 1,6$ рад (90°)) силы инерции груза и рукоятки достигают максимальных значений.

При малых значениях угла β груз оказывается гораздо ниже стойки, сила инерции груза создает момент другого направления относительно оси X , что меняет знак динамической составляющей реакции опоры. Чем больше длина рукоятки L_2 , тем при большем угле β происходит смена знака динамической составляющей. Рекомендуемые значения угла β от $0,9$ рад (55°) (рис. 5,а) до $1,1$ рад (65°) (рис. 5,б). В этом интервале имеет место наибольшая устойчивость машины против опрокидывания.

С увеличением веса груза G_3 возрастает динамическая составляющая реакции опоры по абсолютной величине. Это связано с линейной зависимостью сил инерции от массы – зависимость от угловой скорости параболическая (рис. 5.). Большая зависимость $Y_B^{дин}$ наблюдается от угла β (рис.6), что приводит к изменению знака, а предельных значений она достигает при $\beta = 0,2$ рад (12°) (рис.6,а) и $\beta = 0,6$ рад (35°) (рис.6,б).

$$\begin{cases} \sum F_{ix} + \sum \Phi_{ix} = 0; \\ \sum F_{iy} + \sum \Phi_{iy} = 0; \\ \sum F_{iz} + \sum \Phi_{iz} = 0; \\ \sum M_{ix} + \sum M_{ix}^\Phi = 0; \\ \sum M_{iy} + \sum M_{iy}^\Phi = 0; \\ \sum M_{iz} + \sum M_{iz}^\Phi = 0, \end{cases} \quad (5)$$

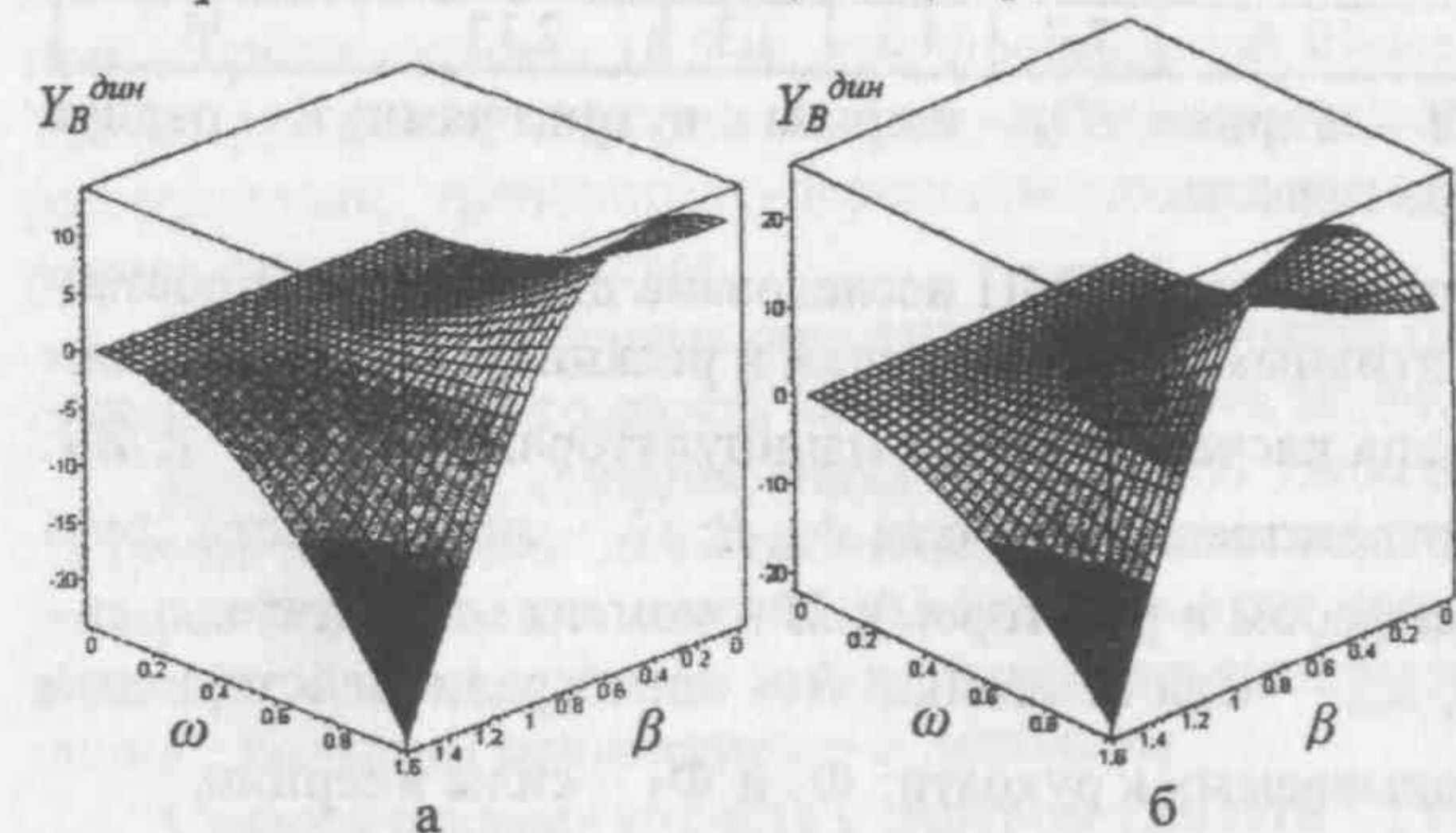


Рис. 5. Поверхности отклика динамической составляющей реакции опоры в зависимости от угловой скорости ω и угла между вертикалью и осью рукоятки β : а – $L_1 = 5$ м, $L_2 = 5$ м; б – $L_1 = 2$ м, $L_2 = 8$ м

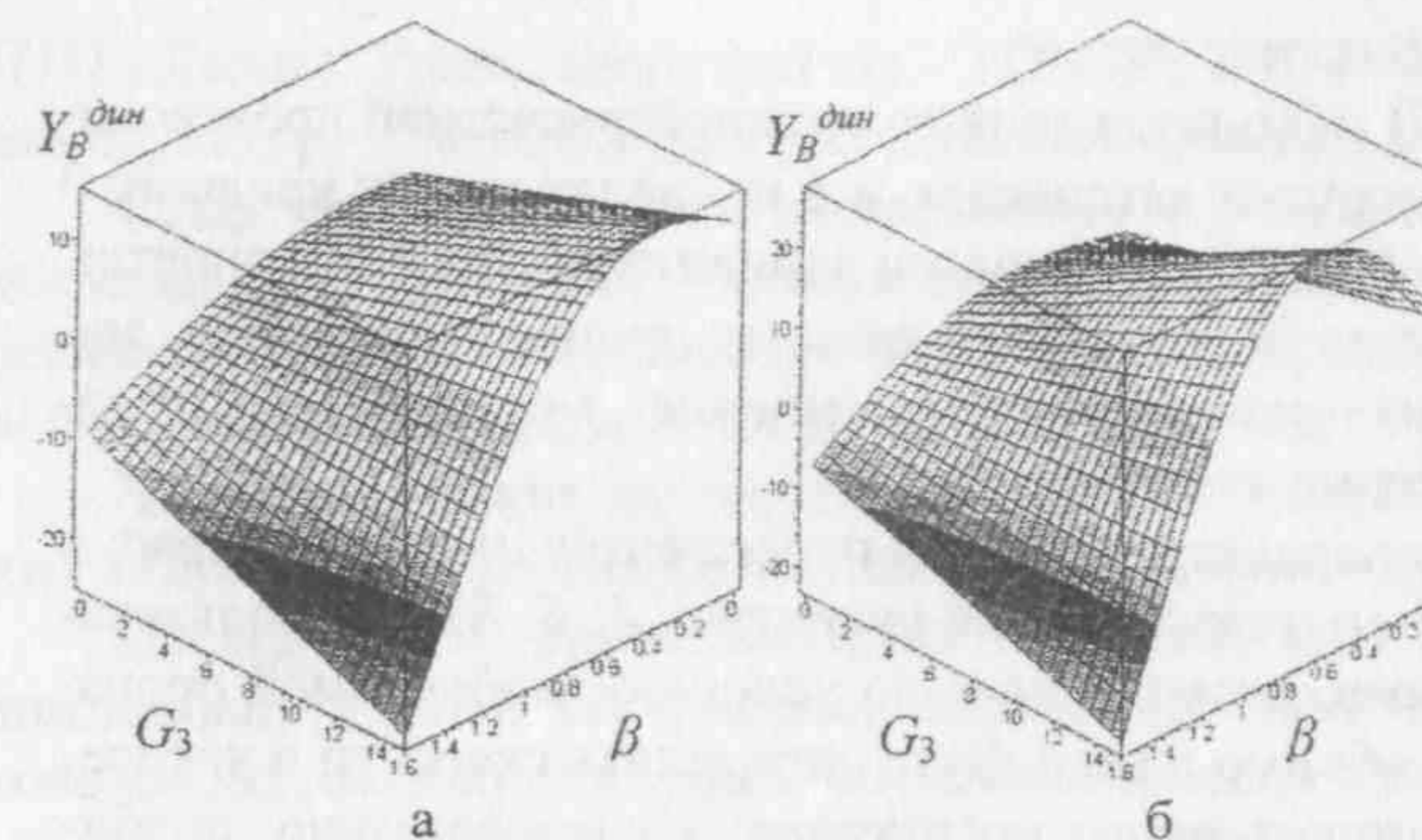


Рис. 6. Поверхности отклика динамической составляющей реакции опоры в зависимости от силы тяжести груза G_3 и угла между вертикалью и осью рукоятки β : а – $L_1 = 5$ м, $L_2 = 5$ м; б – $L_1 = 2$ м, $L_2 = 8$ м

Третья глава посвящена исследованию факторов, влияющих на производительность манипуляторного погрузчика.

Производительность погрузки круглых лесоматериалов гидроманипулятором зависит от диаметра и длины сортимента, породы древесины, формы сечения ствола, характеристики применяемого манипулятора (вес, грузоподъемность, вылет стрелы, геометрическая конструкция манипулятора), а также от квалификации оператора погрузки.

Анализ производительности выполнен при двух вариантах погрузки автопоездов: погрузка хлыстов без их разворота с упором комля в подвес или стрелу и погрузка хлыстов и сортиментов с разворотом их на 180° при захвате за центр тяжести.

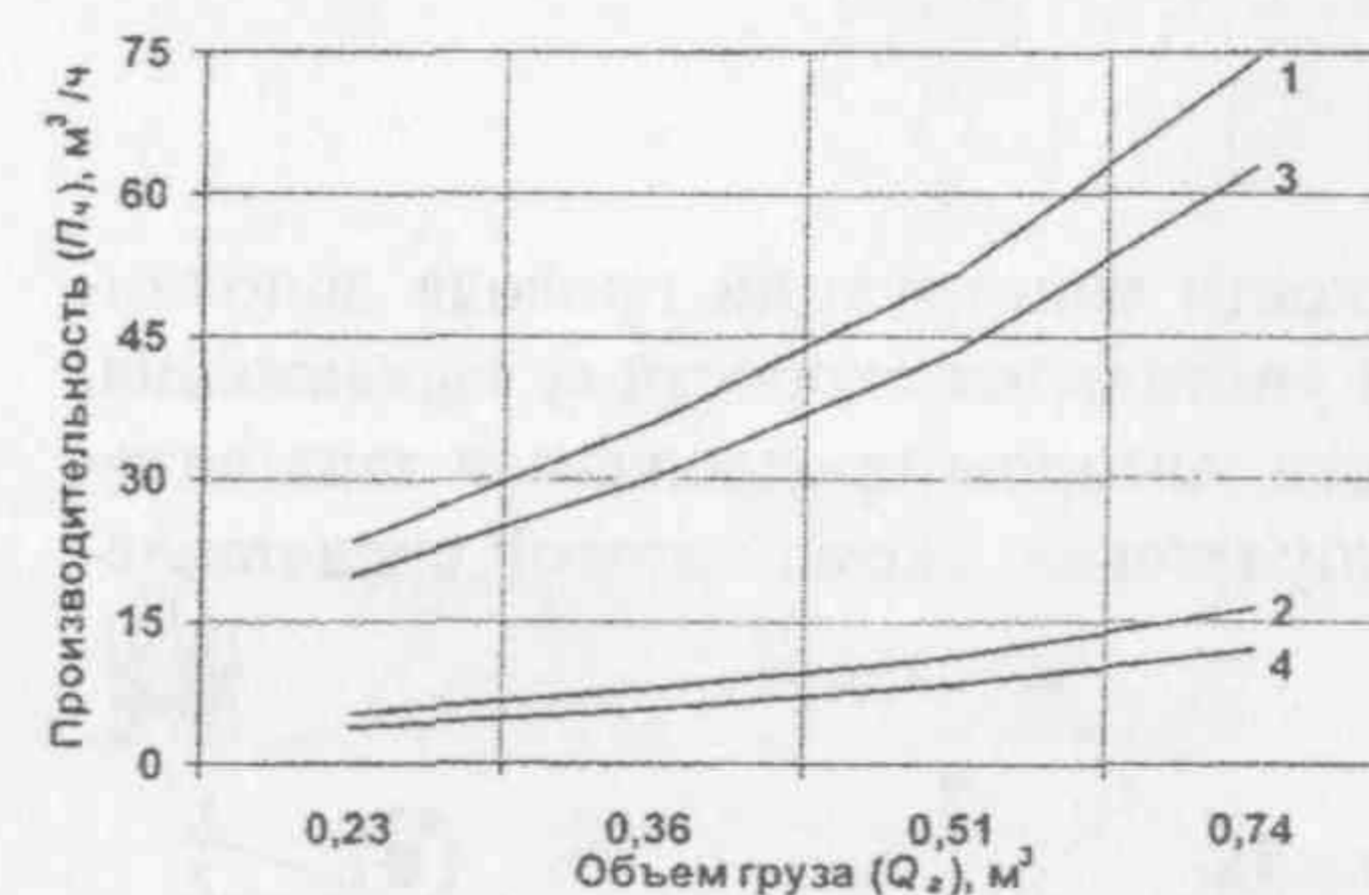


Рис. 7. Производительность манипулятора при разных скоростях перемещения стрелы и рукоятки: 1 – горизонтальная угловая скорость $\omega = 0,7$ с⁻¹, вертикальная линейная скорость $U = 0,7$ м/с; 2 – горизонтальная угловая скорость $\omega = 0,1$ с⁻¹, вертикальная линейная скорость $U = 0,1$ м/с; 3 – вертикальная линейная и горизонтальная угловая скорости $0,7$ м/с; 4 – вертикальная и горизонтальная угловая скорости $0,1$ м/с

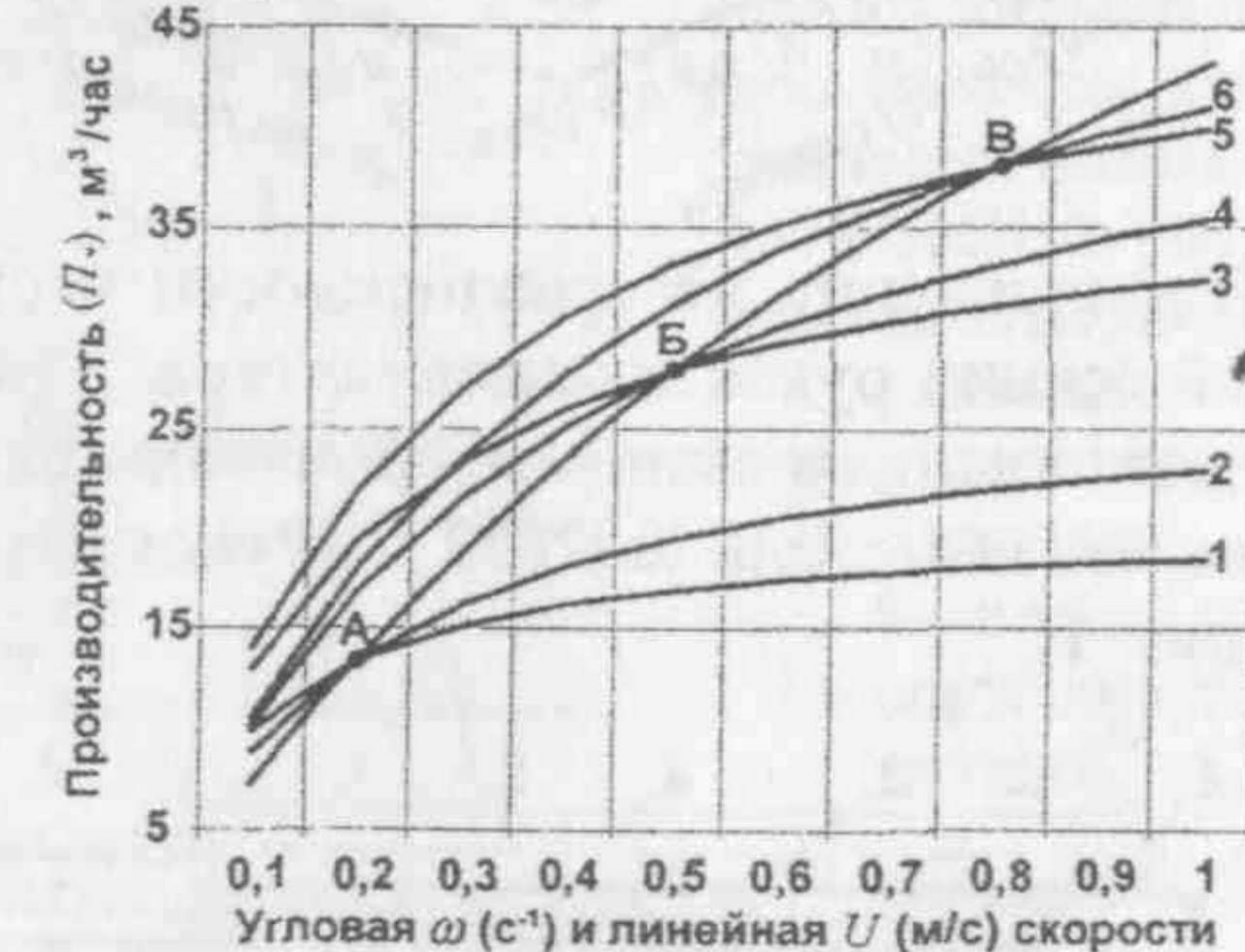


Рис. 8. Производительность манипулятора в зависимости от соотношения линейных и угловых скоростей: 1 – горизонтальная угловая скорость, $\omega = 0,2$ с⁻¹; 2 – вертикальная линейная скорость, $U = 0,2$ м/с; 3 – горизонтальная угловая скорость $\omega = 0,5$ с⁻¹; 4 – вертикальная линейная скорость, $U = 0,5$ м/с; 5 – горизонтальная угловая скорость $\omega = 0,8$ с⁻¹; 6 – вертикальная линейная скорость, $U = 0,8$ м/с

Графики расчетной часовой производительности манипулятора при различных объемах груза (сортимента, пачки сортиментов) представлены на рис. 7 и при различных сочетаниях угловых (в горизонтальной плоскости) и линейных (в вертикальной

плоскости) скоростей перемещений на рис. 8.

Между кривыми 1 и 2 (рис. 7) находится зона возможной расчетной производительности для первого варианта погрузки автопоезда, а в пределах между кривыми 3 и 4 – зона возможной производительности для второго варианта погрузки автопоезда. Следовательно, независимо от схемы погрузки, влияние на производительность манипулятора линейных и угловых скоростей перемещения механизма «стрела-рукоять» примерно одинаково и весьма значительно.

На графике (рис. 8) выявлены характерные точки пересечения кривых угловых и линейных скоростей перемещений системы «стрела-рукоять» (А, В, В), с использованием которых построена номограмма, позволяющая по условию необходимой производительности, а также известном объеме и весе груза определять скорости и ускорения кинематических звеньев манипуляторного погрузчика, а следовательно, подбирать его характеристики (рис. 9).

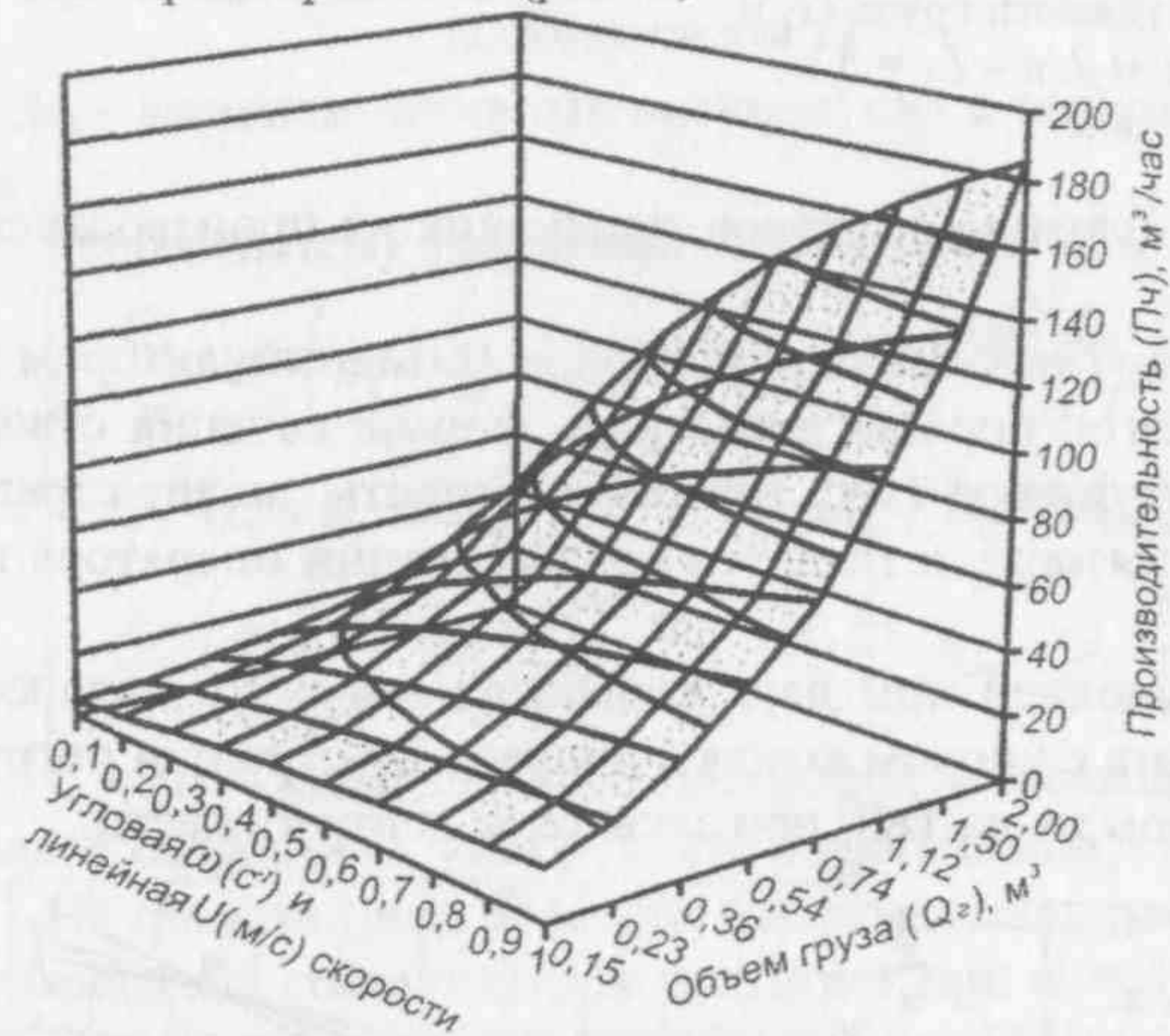


Рис. 9. Номограмма производительности манипулятора в зависимости от соотношения линейных и угловых скоростей и объема груза (хлыста, пачки, пакета сортиментов) для второго варианта погрузки

Для снижения материалоемкости и сложности конструкции привода дополнительной секции рукояти манипулятора, а также увеличения скорости ее выдвижения, а следовательно, повышения производительности, автором предложена и запатентована полезная модель №92857 – «Рукоять манипулятора», схема которой представлена на рис. 10.

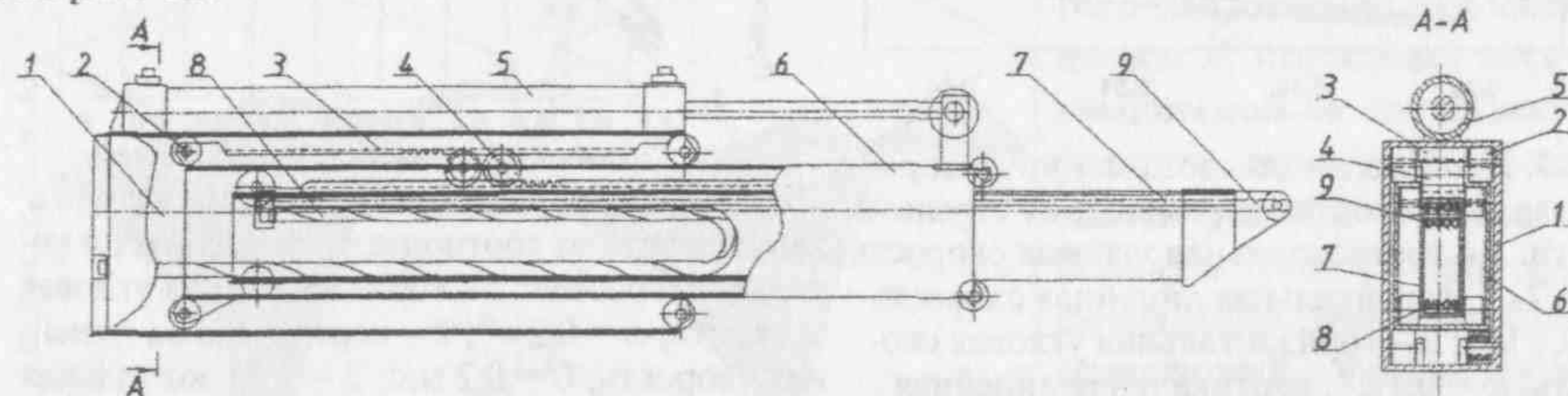


Рис. 10. Схема телескопического удлинителя рукояти: 1 – рукоять манипулятора; 2 – ролик направляющий; 3 – зубчатая рейка (планка); 4 – шестерня; 5 – гидроцилиндр выдвижения первой секции; 6 – первая секция манипулятора; 7 – вторая секция манипулятора; 8 – рукава высокого давления; 9 – трубки

Основная цель проводимого экспериментального исследования – проверка адекватности теоретических формул расчета производительности результатами на производстве. Эксперимент проведен на трех предприятиях Свердловской области: ООО

ПТП «Лесной Урал», манипулятор – PONSSE K90 Dual; ООО КЛПХ «Содружество», манипулятор – СФ-65С; ООО ПО «Пиломатериалы», манипулятор – Fiskars 080.

Сопоставление данных эксперимента с результатами теоретических расчетов показывает их достаточно близкое совпадение. Расхождение между значениями теоретической производительности и значениями производительности, полученными с использованием уравнений регрессии, не превышает 11 %.

Четвертая глава посвящена разработке технологических положений применения УЛМП на различных фазах лесопромышленного производства.

Исследования, представленные в предыдущих главах, позволяют определить компоновку УЛМП, как пневмоколесной машины, оснащенной отвалом, формирочным щитом и аутригерами, обеспечивающими повышенную устойчивость и снижающими нагрузку на оси. Применение манипулятора грузоподъемности – 160-180 кНм и вылета – 11,0-11,5 м, наличие лебедки, захватного коника и съемных стоек, делают погрузчик унифицированным для выполнения широкого комплекса работ. Операции трелевки, сортировки, штабелевки, погрузки, как хлыстов, так и сортиментов на подвижной состав лесовозных дорог; разгрузки на лесопромышленном складе; подачи в цехи и отгрузки готовой продукции потребителям, а также операции подготовки лесосек и транспортных путей выполняются одной машиной – УЛМП.

Использование УЛМП позволяет увеличить ширину разрабатываемой пасеки до 50 м. Деревья, сваленные бензопилой на границе пасеки, перемещаются к волоку погрузчиком в полуподвешенном состоянии с целью наилучшего сохранения подроста (рис. 11). Обрезка сучьев и раскряжевка проводится на волоке с минимальными затратами на переходы и сбор сучьев, что увеличивает производительность на этой операции.

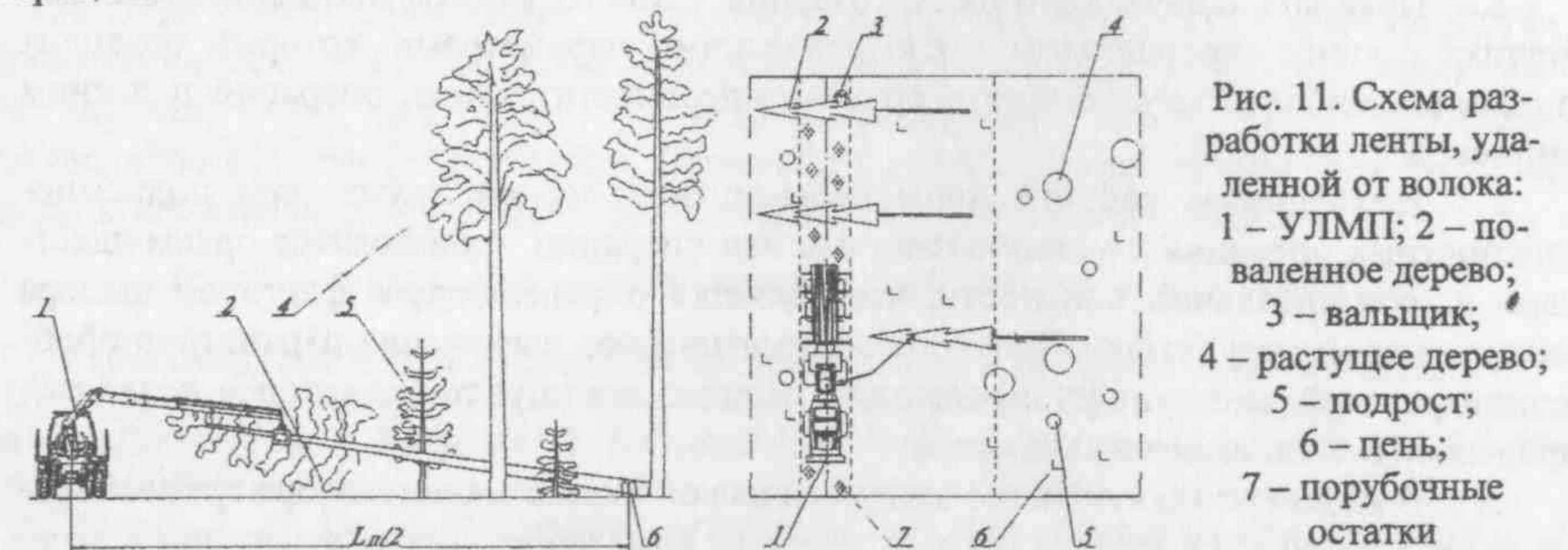


Рис. 11. Схема разработки ленты, удаленной от волоку: 1 – УЛМП; 2 – поваленное дерево; 3 – вальщик; 4 – растущее дерево; 5 – подрост; 6 – пень; 7 – порубочные остатки

УЛМП дает возможность разработки мелких лесосек, не требуя дополнительных технических средств для частых перебазировок, позволяет работать как с хлыстами, так и с сортиментами. Технология применения УЛМП позволяет проводить, как рубки главного, так и промежуточного пользования, что существенно расширит область использования данной технологии.

В пятой главе приведена технико-экономическая оценка применения УЛМП в лесном комплексе с целью замещения существующих подъемно-транспортных механизмов.

Экономическая оценка применения УЛМП проведена для двух технологий – хлыстовой и сортиментной, в сравнении с четырьмя различными комплектами машин на лесосечных работах:

1 – бензопилы, трелевочный трактор ТТ-4М, погрузчик ЛТ-65Б, лесовозные автопоезда, кран ЛТ-62 на разгрузке;

2 – валочно-пакетирующая машина ВПМ ЛП-19, трелевочный трактор ЛТ-157, сучкорезная машина ЛП-33Г, погрузчик ЛТ-188, кран ЛТ-62 на разгрузке;

3 – лесозаготовительный комплекс харвестер «PONSSSE Beaver» и форвардер «PONSSSE Gazelle»;

4 – комплекс на базе УЛМП и бензиномоторных пил. Расчеты проведены для объемов заготовки древесины 25 тыс. м³, 50 тыс. м³, 75 тыс. м³.

Анализ показывает, что при заготовке леса сортиментами инвестиционные затраты для всех комплектов машин ниже, чем при хлыстовой. В интервале объемов заготовки до 25 тыс. м³ технология на базе УЛМП имеет экономические показатели, сопоставимые с традиционными технологиями при вывозке хлыстов, но при сортиментной технологии они становятся выше. Установлено, что при объемах заготовки хлыстами менее 25 тыс. м³ внедрение машины УЛМП и технологии на ее базе неэффективно. Наиболее эффективным является применение УЛМП при сортиментной технологии и объемах заготовки более 50 тыс. м³.

При годовых объемах заготовки в пределах 25-50 тыс. м³ чистый дисконтированный доход применения УЛМП соответствует такому же показателю внедрения системы машин «харвестер-форвардер», но при значительно меньших капиталовложениях. В диапазоне 50-75 тыс. м³ при сортиментной заготовке технология на базе УЛМП показывает преимущества перед всеми другими системами машин по минимальным инвестиционным затратам и максимальному чистому дисконтированному доходу за 5 расчетных лет.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Показана целесообразность создания единого многофункционального погрузчика с унифицированными технологическими параметрами, который позволит выполнять наиболее трудоемкие погрузочно-переместительных операций в лесном комплексе.

2. Исследованы рабочие зоны перемещения лесных грузов при подъемно-транспортных операциях; установлено, что эти операции производятся преимущественно в горизонтальной плоскости, что является определяющим фактором выбора конструкции манипулятора. Получено математическое выражение параметров обобщенной рабочей зоны унифицированного лесного манипулятора, которое позволяет определить его кинематическую схему.

3. Выполнено обоснование кинематической схемы манипулятора графоаналитическим методом. Получены математические выражения для определения максимального вылета манипулятора на различных операциях техпроцесса.

4. Предложена методика и выполнен кинематический анализ работы звеньев «стрела-рукоять» манипулятора. Установлено, что наибольшие ускорения в звеньях, возникают при угловых перемещениях стрелы и рукояти и незначительные при линейных их перемещениях.

5. Для облегчения выбора скоростей перемещения манипулятора в зависимости от необходимой производительности, разработана номограмма, позволяющая подбирать параметры гидропривода по допускаемым нагрузкам.

6. Разработана методика и исследованы условия устойчивости УЛМП при суммарном воздействии статических и динамических нагрузок, на основании которой рекомендованы предельные скорости поворота манипулятора с грузом. При малых значениях угловой скорости до 0,3 рад/с, динамическая реакция опоры составляет до 2 % от статической и слабо влияет на устойчивость машины. При угловой скорости

свыше 0,4 рад/с возрастают и динамическая реакция опоры и чувствительность к изменению угла наклона стрелы манипулятора. Рекомендуются для безопасной эксплуатации погрузчика значения угловой скорости 0,2-0,3 рад/с, опасные – 0,8-1,0 рад/с.

7. На основании методики, для базовой машины с габаритами: ширина 2,2 м, длина 5,0 м, рекомендуются следующие параметры унифицированного манипулятора: укороченная длина стрелы, удлиненная рукоять; вылет 11,0-11,5 м; высота подъема груза – 5 м; предельный вес груза, при наличии аутригеров – 1400 кг.

8. Запатентован механизм для выдвижения телескопической секции рукояти манипулятора, позволяющий упростить конструкцию привода дополнительной секции рукояти манипулятора и увеличить скорость ее выдвижения.

9. Исследованы факторы, влияющие на производительность манипуляторных погрузчиков при работе с круглыми лесоматериалами, получены зависимости производительности от соотношения линейных и угловых скоростей звеньев «стрела-рукоять». Выводы теоретических исследований подтверждаются результатами экспериментальных исследований.

10. Разработаны технологические схемы применения унифицированного лесопромышленного манипуляторного погрузчика на лесосечных работах, погрузке, сортировке и подаче леса в деревообрабатывающие цехи. Предлагаемая технология позволяет увеличивать ширину пазов, разрабатывать мелкие лесосеки, работать как с хлыстами, так и с сортиментами, сократить номенклатуру используемых механизмов, унифицировать ремонтную базу, повысить рентабельность производства. Экономические расчеты показали, что внедрение УЛМП наиболее эффективно при сортиментной технологии и объемах лесозаготовки более 50 тыс. м³ в год.

11. На основе полученных результатов диссертационного исследования разработано техническое задание, которое передано и используется на машиностроительных заводах ОАО «Амкодор» (г. Минск, Республика Беларусь) и «Pfanzelt-Maschinenbau GmbH» (г. Реттенбах, Германия), с целью проектирования и выпуска унифицированного лесопромышленного манипуляторного погрузчика.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

Публикации в изданиях рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1. Добрачев, А. А. Исследование кинематики работы звеньев манипулятора в обобщенном виде [Текст] / А. А. Добрачев, Л. Т. Раевская, А. В. Швец // Лесной вестник. – 2008. – № 3(60). – С. 118-122.

2. Швец, А. В. Целесообразность создания универсальной модели манипулятора для лесных складов [Текст] / А. В. Швец, А. А. Добрачев // Деревообрабатывающая промышленность. – 2009. – № 5. – С. 10-12.

3. Добрачев, А. А. Статическая устойчивость манипуляторных машин [Текст] / А. А. Добрачев, Л. Т. Раевская, А. В. Швец // Вестник машиностроения. – 2009. – № 12. – С. 24-27.

4. Добрачев, А. А. Математическое моделирование динамических реакций опор манипуляторной машины [Текст] / А. А. Добрачев, Л. Т. Раевская, А. В. Швец // Вестник машиностроения. – 2010. – № 1. – С. 17-20.

5. Добрачев, А. А. Классификация и систематика лесных манипуляторов [Текст] / А. А. Добрачев, А. В. Швец // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2010. – №5. – С. 69-73.

6. Dobrachev, A. A. Static stability of manipulator [Text] / A. A. Dobrachev, L. T. Raevskaya, A. V. Shvets // Russian Engineering Research – 2009 – Vol. 29, No. 12 – pp. 1221-1224.

7. Dobrachev, A. A. Simulating the dynamic reaction of manipulator supports [Text] / A. A. Dobrachev, L. T. Raevskaya, A. V. Shvets // Russian Engineering Research – 2010 – Vol. 30, No. 1 – pp. 11-16.

В статьях и материалах конференций:

8. Швец, А. В. Универсальный манипулятор как средство реструктуризации лесного комплекса [Текст] / А. В. Швец, А. А. Добрачев // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России. Материалы IV Всероссийской научн.-техн. конф. / Урал. гос. лесотехн. ун-т. – Екатеринбург, 2008. – Ч. 1. С. 340-343.
9. Швец, А. В. Лесозаготовкам нужны новые технологии [Текст] / А. В. Швец // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. Труды III международного евразийского симпозиума / Под научной ред. В.Г. Новоселова – Екатеринбург, 2008. – С. 140-147.
10. Швец, А. В. Универсальный лесопогрузчик [Текст] / А. В. Швец // Научному прогрессу – творчество молодых: сборник материалов Международной научной студенческой конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам: в 3 ч. – Ч. 3. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2008. – С. 153-154.
11. Швец, А. В. Экономическое обоснование внедрения манипуляторных машин [Текст] / А. В. Швец // Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса в рамках концепции 2020: матер. VII междунар. науч.-техн. конф. / Урал. гос. лесотехн. ун-т. – Екатеринбург. – 2009. Ч. 1. С. 228-230.
12. Добрачев, А. А. Производительность манипулятора на погрузке лесоматериалов [Текст] / А. А. Добрачев, П. Н. Уразов, А. В. Швец // Леса России и хозяйство в них: жур. Вып. 2(30) / Урал. гос. лесотехн. ун-т. – Екатеринбург, 2008. – С. 59-65.
13. Швец, А. В. Определение оптимальных параметров манипуляторного погрузчика [Текст] / А. В. Швец, А. А. Добрачев // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: матер. V всерос. науч.-техн. конф. / Урал. гос. лесотехн. ун-т. – Екатеринбург, 2009. – Ч. 2. С. 7-10.
14. Швец, А. В. Обоснование выбора технологии рубок с использованием многооперационной машины манипуляторного типа [Текст] / А. В. Швец // Сб. материал. Респуб. науч.-теорет. конф. – Астана, 2009. – С. 127.
15. Швец, А. В. Обоснование основных параметров манипулятора для лесной промышленности [Текст] / А. В. Швец // Леса России в XXI веке: матер. первой междунар. науч.-практич. интернет-конф. – СПб.: СПбГЛТА, 2009. – С. 222-225.
16. Швец, А. В. Обоснование геометрических параметров манипуляторной машины средствами математического моделирования [Текст] / А. В. Швец, Л. Т. Раевская // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. Труды IV международного евразийского симпозиума / Под научной ред. В.Г. Новоселова – Екатеринбург, 2009. – С. 346-349.
17. Швец, А. В. Экономический анализ лесотранспортного цикла [Текст] / А. В. Швец, А. Н. Заплатин, А. А. Добрачев // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. Труды V международного евразийского симпозиума / Под научной ред. В.Г. Новоселова – Екатеринбург, 2010. – С. 138-141.
18. Патент на полезную модель РФ № 92857, МПК В66С 23/00. Рукоять манипулятора / А. А. Добрачев, А. В. Швец (Россия). – № 2009138845/22; Заявлено 20.10.2009. Опубл. 10.04.2010. – 1 с.
19. Швец, А. В. Универсальный манипуляторный погрузчик – новая машина, новая технология [Текст] / А. В. Швец, М. В. Полукаров, А. А. Добрачев // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: матер. VII Всерос. науч.-техн. конф. / Урал. гос. лесотехн. ун-т. – Екатеринбург, 2011. – Ч. 1. С. 76-78.

Просим принять участие в работе диссертационного Совета Д 212.281.02 или прислать Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, Ученому секретарю диссертационного совета Куцубиной Н. В. Факс: (343) 254-62-25. E-mail: bsovet@usfeu.ru.

Подписано в печать 25.07.2011 г. Объем 1,0 п.л. Тираж 100. Заказ №351
620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37.

Уральский государственный лесотехнический университет.

Отдел оперативной полиграфии.