

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 630\*371:630\*356 (043.3)

**ЕРМАЛИЦКИЙ**  
Андрей Александрович

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПОГРУЗКИ ДРЕВЕСИНЫ  
ГИДРОМАНИПУЛЯТОРАМИ НА КОЛЕСНЫХ ШАССИ  
С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ЛЕСОВОДСТВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ  
ТРЕБОВАНИЙ**

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук  
по специальности 05.21.01 – технология и машины лесозаготовок  
и лесного хозяйства

Минск 2013

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет»

**Научный руководитель** **Насковец Михаил Трофимович**,  
кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой транспорта леса  
учреждения образования «Белорусский  
государственный технологический  
университет»

**Официальные оппоненты:** **Коробкин Владимир Андреевич**,  
доктор технических наук, главный  
конструктор специального производства  
РУП «Минский тракторный завод»;

**Асмоловский Михаил Корнеевич**,  
кандидат технических наук, доцент,  
учреждение образования «Белорусский  
государственный технологический  
университет», кафедра лесных культур и  
почвоведения

**Оппонирующая организация** Государственное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Белорусско-Российский университет»

Защита состоится 24 сентября 2013 г. в 14.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.06 при учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» по адресу: 220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, ауд. 240, корп. 4; e-mail: root@bstu.unibel.by; тел. (8-017) 327-83-41; факс: (8-017) 327-62-17.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Автореферат разослан 23 августа 2013 г.

Ученый секретарь  
совета по защите диссертаций  
кандидат технических наук, доцент



Мохов С. П.

## ВВЕДЕНИЕ

В лесозексплуатационных условиях Республики Беларусь, характеризующихся деконцентрацией лесосечного фонда и значительным удалением потребителей древесины от поставщика, важнейшим этапом лесозаготовок являются погрузочно-разгрузочные операции, технический уровень которых во многом определяет эффективность работы машин лесосечного и транспортного циклов.

Ежегодное уменьшение доли хлыстовой заготовки древесины в объеме лесозаготовительного производства Республики Беларусь и современные лесоводственно-экологические требования привели к резкому ограничению использования специализированной лесопогрузочной техники. Списочное количество гусеничных перекидных лесопогрузчиков в масштабах страны сегодня не превышает 50 единиц. В этих условиях наибольшее применение находит гидроманипуляторное оборудование, установленное на колесных шасси, обладающее широкими технологическими возможностями, универсальностью и высокими показателями надежности и эргономики. В Беларуси гидроманипуляторами с различными техническими характеристиками оборудовано более 2500 единиц колесной техники, выполняющей погрузочно-транспортные операции. При этом доля гидроманипуляторов отечественного производства составляет около 20%.

Многообразие конструкций и технологических схем использования гидроманипуляторов при погрузке хлыстов и сортиментов на лесовозный транспорт, а также необходимость интенсификации лесопогрузочных процессов с учетом возрастающей потребности в импортозамещающем оборудовании для обеспечения устойчивого развития отечественного лесного машиностроения требуют обоснования выбора их рациональных параметров для различных лесозексплуатационных условий. Диссертационная работа посвящена решению этой актуальной задачи.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с крупными научными программами и темами.** Тема диссертации соответствует приоритетным направлениям прикладных научных исследований в Республике Беларусь, а также научным направлениям кафедры транспорта леса учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет». Диссертация выполнялась в рамках следующих НИР:

- 1) БС 21-207 «Разработать технологии транспортного освоения лесов в условиях избыточно-увлажненных земель и провести их опытно-производственную проверку» (ГНТП «Леса Беларуси»), № гос. регистрации 20013818, 2001–2002 гг.;
- 2) БС 23-208 «Разработать конструктивные схемы использования и внедрить рекомендации по применению навесного сменного оборудования на базе лесных машин и механизмов для расширения их транспортно-технологических функций» (ГНТП «Леса Беларуси»), № гос. регистрации 20033194, 2003–2005 гг.;
- 3) БС 26-214 «Модернизировать гидроманипулятор М-75 для погрузки сортиментов, создать и промышленно освоить на его базе модификацию с увеличенным вылетом стрелы» (ГНТП «Управление лесами и рациональное лесо-

пользование») № гос. регистрации 20065296, 2006–2007 гг.

**Цель и задачи исследования.** Цель работы – повышение эффективности использования гидроманипуляторов при погрузке хлыстов и сортиментов на лесовозный транспорт путем обоснования их рациональных параметров с учетом типа базового колесного шасси и лесоводственно-экологических требований.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие основные задачи диссертационного исследования:

1) провести анализ конструктивных и технологических особенностей применения лесопогрузочных гидроманипуляторов и выработать рекомендации по повышению их эксплуатационных характеристик для условий Республики Беларусь;

2) разработать методику комплексной оценки эффективности применения гидроманипуляторов при погрузке хлыстов и сортиментов на лесовозный транспорт в системе «гидроманипулятор – предмет труда» по удельным временным и энергозатратам, часовой и сменной производительностям, позволяющую осуществить рациональный выбор системы машин на лесопогрузочных операциях с учетом условий эксплуатации;

3) разработать математическую модель динамической системы процесса погрузки хлыстов и сортиментов гидроманипуляторами, отличающуюся учетом типа их базового колесного шасси, упруго-демпфирующих связей в аутригерах и позволяющую на стадии проектирования производить оценку динамической нагруженности гидроманипулятора и поперечной устойчивости его базовой машины, обосновывать и выбирать их конструктивные параметры;

4) по результатам теоретических и экспериментальных исследований обосновать основные технические параметры отечественного гидроманипулятора с увеличенным вылетом стрелы;

5) провести исследовательские испытания, включающие оценку технических параметров, установление эксплуатационных показателей опытного образца гидроманипулятора в составе сортиментовоза, а также оценку адекватности разработанной математической модели.

*Объектом исследования* являлись гидроманипуляторы, установленные на колесных транспортных шасси, и лесовозные автопоезда, обеспечивающие технологический процесс лесопогрузочных работ. *Предметом исследования* служили конструктивные и технологические параметры, а также технико-эксплуатационные показатели лесопогрузочной техники.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

– методика комплексной оценки эффективности применения гидроманипуляторов при погрузке хлыстов и сортиментов на лесовозный транспорт в системе «гидроманипулятор – предмет труда» по удельным временным и энергозатратам, часовой и сменной производительностям, позволяющая осуществить рациональный выбор системы машин на лесопогрузочных операциях с учетом условий эксплуатации;

– математическая модель, описывающая динамическую систему процесса погрузки хлыстов и сортиментов гидроманипуляторами, отличающаяся учетом типа их базового колесного шасси, упруго-демпфирующих связей в аутригерах

и позволяющая на стадии проектирования производить оценку динамической нагруженности гидроманипулятора и поперечной устойчивости его базовой машины, обосновывать и выбирать их конструктивные параметры;

– регрессионные зависимости времени погрузки хлыстов и сортиментов гидроманипуляторами с различным грузовым моментом, позволяющие оценить эффективность их работы с учетом условий эксплуатации;

– экспериментально установленные значения динамических параметров смонтированного на автомобиле лесопогрузочного гидроманипулятора, позволяющие на стадии проектирования выбирать его эксплуатационные характеристики в зависимости от величины вылета стрелового оборудования.

**Личный вклад соискателя.** Автор принимал непосредственное участие в постановке цели и задач исследований, выборе и реализации методов их решения. Соискателем лично выполнен аналитический обзор научной литературы по теме диссертации, научно обоснован выбор направлений исследований, разработана методика комплексной оценки эффективности применения лесопогрузочных гидроманипуляторов, проведены теоретические и экспериментальные исследования процесса погрузки хлыстов и сортиментов гидроманипуляторами на лесовозный транспорт, обработаны и проанализированы опытные данные, разработана и апробирована математическая модель динамической системы лесопогрузочного процесса, подготовлены доклады и публикации. Соавторы публикаций по научным результатам, вошедшим в диссертацию (Гармаза А.К., Клоков Д.В., Насковец М.Т., Ходосовский В.М.) участвовали в их обсуждении. Все основные результаты диссертационной работы получены автором лично.

**Апробация результатов диссертации.** Основные результаты и положения диссертационной работы были доложены и одобрены на международной научно-технической конференции (МНТК) «Создание и применение высокоэффективных наукоемких ресурсосберегающих технологий, машин и комплексов» (МГТУ, Могилев, 25–26 октября 2001 г.), 66, 67, 69–73, 75 научно-технических конференциях (НТК) БГТУ (Минск 2002, 2003, 2005–2009, 2011 гг. соответственно), МНТК «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» (БРУ, Могилев, 2003, 2005, 2007–2010 гг.), МНТК «Лес-2004», «Лес-2005», «Актуальные проблемы лесного комплекса», «Лесной комплекс: состояние и перспективы развития» (БГИТА, Брянск, 2004–2007 гг.), МНТК «Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии» (БГТУ, Минск, 16–18 ноября 2005 г.), всероссийской НТК студентов и аспирантов (УГЛТУ, Екатеринбург, апрель 2005 г.), 1-й и 3-й заочных международных научно-практических конференциях (МНПК) «Система управления экологической безопасностью» (УГТУ УПИ, Екатеринбург, 2007, 2009 гг.), научно-практическом семинаре «Наука и инновации вузов производству: взаимодействие – эффективность, перспективы» (УП «Технопарк» БНТУ «Метолит»–БГТУ, Минск, 22–23 мая 2007 г.), 4-й МНПК «Динамика научных исследований» (Изд-во «Наука и образование», Днепропетровск, 16–31 июля 2008 г.), 6-й МНТК «Инновационные технологии в строительстве автомобильных дорог, мостов и подготовке инженерных кадров в Республике Беларусь» (БНТУ, Минск, 17–18 декабря 2008 г.), МНТК «Устойчивое управление лесами и

рациональное лесопользование» (БГТУ, Минск, 18–21 мая 2010 г.) и др.

**Опубликованность результатов диссертации.** По результатам исследований опубликовано 36 печатных работ, в том числе 14 научных статей в рецензируемых научных журналах, включенных в перечень ВАК по специальности, объемом 6,3 авторских листа, 8 статей в научных сборниках, 13 – в материалах научных конференций, один патент Республики Беларусь на изобретение. Подана заявка на выдачу патента Республики Беларусь на полезную модель «Гидроманипулятор для погрузки хлыстов и сортиментов» № и 20130462 от 31.05.2013 г.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, 6 глав, заключения, библиографического списка и приложений. Работа изложена на 191 странице печатного текста, содержит 57 иллюстраций объемом 30 страниц, 25 таблиц (15 страниц), 20 приложений (41 страница). Библиографический список включает список использованных источников из 130 наименований (11 страниц) и список публикаций соискателя из 37 наименований (5 страниц).

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Введение** содержит общую характеристику состояния исследований в области повышения эксплуатационных характеристик лесопогрузочных гидроманипуляторов, обоснование развития направлений исследований по рассматриваемой проблематике, отражает актуальность и место научной работы среди проведенных исследований, а также значимость результатов диссертации для народно-хозяйственного комплекса Беларуси.

**В первой главе** рассмотрено современное состояние лесозаготовительного производства и погрузочно-разгрузочных работ в лесном комплексе Республики Беларусь [4–А], классифицированы факторы, определяющие условия погрузки древесного сырья на лесовозный транспорт [3–А], проведена технико-эксплуатационная оценка средств погрузки хлыстов и сортиментов на лесовозный транспорт [6–А, 10–А, 16–А, 18–А, 22–А, 24–А, 25–А, 31–А], выполнен аналитический обзор исследований по теме диссертации.

В аналитическом обзоре рассмотрены основные этапы развития научных исследований в области механизации погрузки древесного сырья на лесовозный транспорт [30–А], оценены результаты исследований по повышению эффективности применения лесопогрузочных гидроманипуляторов и обоснованию конструктивных и технологических параметров лесозаготовительных машин с рабочим оборудованием манипуляторного типа, выполненных В.А. Александровым, В.И. Алябьевым, Н.И. Алферьевым, Ю.С. Андриановым, И.Р. Бакулиной, И.М. Бартеневым, М.И. Бриком, Б.Г. Виногоровым, А.В. Гермацким, Н.Т. Гончаренко, А.Д. Грязиным, С.В. Давыдовым, Э.А. Дваранаускасом, З.К. Емтылем, А.В. Жуковым, П.Г. Колесниковым, В.В. Корниенко, А.С. Лукьянчуком, Е.Н. Мосеевым, В.Ф. Полетайкиным, М.Ю. Смирновым, А.А. Смыковым, А.П. Татаренко, П.С. Тороповым, Б.А. Ульяновым, А.В. Швецом, J. Huissi, J. Lindroos, T. Melkas, J. Väkevā, M. Bechtle, E. v. Bodelschwingh, A. Eberhardinger и другими.

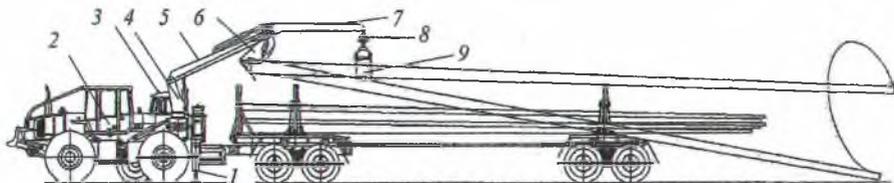
На основании обобщения результатов предшествующих исследований и анализа состояния лесопогрузочных работ в Республике Беларусь сформулированы цель и задачи диссертационного исследования.

Во второй главе по результатам анализа конструктивных и технологических особенностей применения лесопогрузочных гидроманипуляторов сформулированы основные направления повышения их эксплуатационных характеристик для условий Республики Беларусь [21-А, 32-А], при реализации которых получены следующие результаты.

1) Обоснована необходимая величина вылета стреловой группы гидроманипуляторов М 75 и М 90 при их установке на шасси МАЗ 630308. Установлено, что для обеспечения погрузки сортиментов длиной менее 3,5 м без «заламывания» рамы прицепа расчетный вылет гидроманипуляторов должен быть увеличен на 0,825 м и составить 8,625 м. В качестве основы для разработки общей компоновочной и гидравлической схем гидроманипулятора с увеличенным вылетом стрелы предложена модификация стрелового оборудования с двухсекционным телескопическим удлинителем рукояти, управляемым двумя гидроцилиндрами, соединенными последовательно, что позволит расширить эксплуатационные возможности самозагружающихся автопоездов при проведении погрузочно-разгрузочных работ с хлыстами и сортиментами [9-А, 21-А, 27-А, 32-А];

2) Для выполнения подъемно-переместительных операций с хлыстами и сортиментами предложена перспективная конструктивная схема колесного гидроманипуляторного лесопогрузчика (рисунок 1), отличающаяся наличием в конструкции гидроманипулятора гидроцилиндра наклона его колонны [2-А, 23-А, 32-А], а также управляемого упора в виде сектора с ограничителем продольного перемещения комлевой части хлыста [37-А], что позволит снизить динамические нагрузки при работе машины и повысить ее курсовую устойчивость;

3) С учетом специфики технологии погрузки хлыстов и сортиментов гидроманипуляторами на колесных шасси, а также слабой несущей способности лесных грунтов Республики Беларусь [1-А] для улучшения условий перемещения колесной гидроманипуляторной техники на погрузочных пунктах и подъездных путях лесосек разработан способ изготовления покрытия погрузочных площадок, обеспечивающий сохранение структуры почвогрунтов в соответствии с лесоводственно-экологическими требованиями [15-А, 36-А].



1 – аутригеры; 2 – базовый трактор А-2241; 3 – лесовозный автопоезд; 4 – колонна; 5 – стрела; 6 – управляемый упор; 7 – рукоять; 8 – ротатор; 9 – грейферный захват

**Рисунок 1 – Погрузка хлыстов на автопоезд колесным гидроманипуляторным лесопогрузчиком**

В третьей главе изложена методика и результаты оценки эффективности применения гидроманипуляторов при погрузке хлыстов и сортиментов на лесовозный транспорт в системе «гидроманипулятор – предмет труда» по удельным временным и энергозатратам, часовой и сменной производительностям.

По результатам анализа состояния проблемы разработан общий алгоритм теоретических и экспериментальных исследований, направленных на обоснование рациональных параметров гидроманипуляторов и параметров предмета труда для выработки практических рекомендаций по их применению при погрузке хлыстов и сортиментов на лесовозный транспорт, а также при самозагрузке автопоездов в условиях Республики Беларусь [7–А, 35–А].

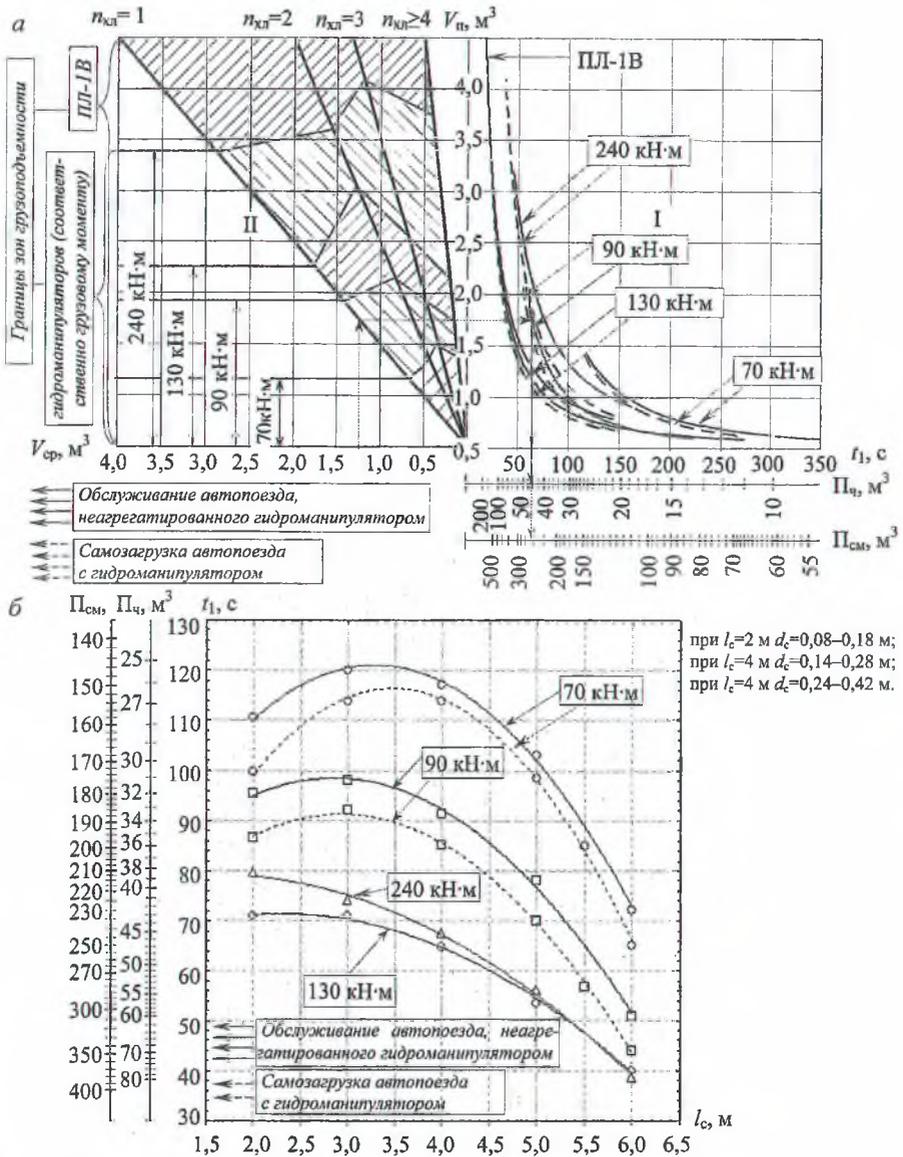
Объектами исследований являлись лесопогрузочные гидроманипуляторы с грузовым моментом от 70 до 240 кН·м, установленные на лесовозных автомобилях, и перекидной лесопогрузчик ПЛ-1В, технико-эксплуатационные показатели которого использовались для сопоставления эффективности его работы с эффективностью работы гидроманипуляторного оборудования.

Эксперименты поставлены в зоне производственной деятельности ОАО «Житковичлес», ЗАО «Мозырьлес» и ОАО «Лунинацлес». Основными регистрируемыми параметрами являлись: продолжительность эксплуатационного цикла работы; диаметр, длина хлыстов (сортиментов) и их количество в пачке. Основными показателями эксплуатационно-технологической оценки – объем погружаемой пачки,  $V_n, \text{м}^3$ ; время погрузки  $1 \text{ м}^3, t_1, \text{с}$ ; сменная,  $P_{\text{см}}$  и часовая,  $P_{\text{ч}}$  производительности,  $\text{м}^3$ ; коэффициент использования грузоподъемности,  $k_{\text{иг}}$ .

Статистическая обработка экспериментальных данных проведена в программном пакете Statistika V6 и включала: тестирование выборок на наличие грубых наблюдений с использованием критерия Стьюдента; оценку достаточности объемов выборок и надежности результатов наблюдений; проверку гипотезы о нормальности закона распределения по критерию Пирсона; установление степени стохастической связности между измеряемыми параметрами посредством корреляционного анализа; получение эмпирических зависимостей, описывающих влияние природно-производственных факторов на технико-эксплуатационные показатели объектов исследования, посредством регрессионного анализа.

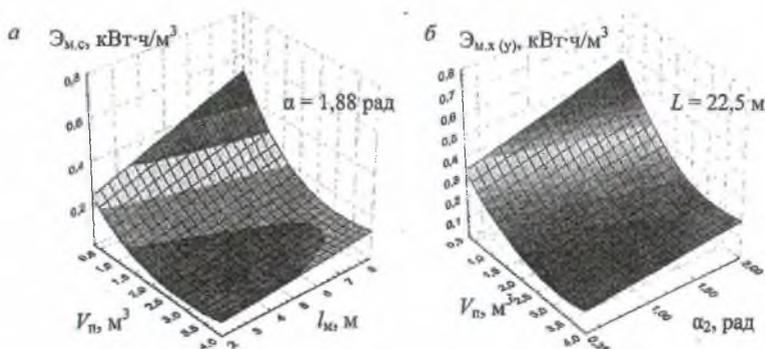
На основе полученных эмпирических зависимостей составлены номограммы, отражающие связь природных и технологических факторов, а также их влияние на расчетные значения откликов при погрузке хлыстов и сортиментов на лесовозный транспорт (рисунок 2) [11–А, 12–А]. Номограммы позволяют установить границы целесообразной применимости гидроманипуляторов в зависимости от среднего объема хлыста и количества хлыстов в пачке, от длины сортиментов, а также провести сравнительную оценку эффективности их использования по удельному времени погрузки, часовой и сменной производительности.

В основу теоретических исследований положена разработка методики оценки влияния различных факторов на процесс работы лесопогрузочных гидроманипуляторов по критерию энергоемкости технологических операций [7–А]. В результате исследований получены зависимости для определения удельных затрат энергии ( $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$ ) на погрузку хлыстов и сортиментов гидроманипуля-



**Рисунок 2 – Номограммы определения эффективности использования гидроманипуляторов при погрузке хлыстов (а) и сортиментов (б) на автопоезда**

торами, решение которых осуществлялось в программном пакете Statistika V6. Наиболее характерные из них представлены на рисунке 3, где  $l_m$  – вылет гидроманипулятора,  $\alpha$  и  $\alpha_2$  – углы поворота пачек сортиментов и хлыстов в горизонтальной плоскости,  $L$  – длина хлыста.



а – сортиментов; б – хлыстов методом упора

**Рисунок 3 – Зависимости энергоёмкости погрузки сортиментов и хлыстов гидроманипуляторами от основных факторов**

Исследованиями установлено, что гидроманипуляторы с грузовым моментом до 90 кН·м необходимо использовать преимущественно при погрузке сортиментов. Гидроманипуляторами универсального использования может являться оборудование с грузовым моментом 90–130 кН·м (при работе с хлыстами объемом не более 1,4 и 1,7 м<sup>3</sup> соответственно). В диапазоне изменения величины грузового момента от 70 до 240 кН·м наибольший коэффициент использования грузоподъемности имеет оборудование с грузовым моментом 90 кН·м [33–А]. Гидроманипуляторы класса 130–240 кН·м наиболее эффективны при погрузке пачек хлыстов объемом 2,6–3,7 м<sup>3</sup>. В указанных условиях эксплуатации их грузоподъемность может обеспечить полную замену перекидных лесопогрузчиков ПЛ-1В. При этом энергоёмкость погрузки хлыстов гидроманипуляторами в сравнении с ПЛ-1В сократится в 1,3–3,4 раза, что удовлетворяет требованиям длительной лесозаготовки и основным критериям ресурсосбережения. Энергозатраты на погрузку сортиментов гидроманипуляторами изменяются в диапазоне – 0,04–0,83 кВт·ч/м<sup>3</sup>, на погрузку хлыстов гидроманипуляторами – 0,09–0,59 кВт·ч/м<sup>3</sup>. Затраты энергии на погрузку сортиментов гидроманипулятором самозагружающегося автомобиля в 1,36–1,39 раза больше чем при его самозагрузке, хлыстов – в 1,07–1,1 раза соответственно. Энергоёмкость погрузки хлыстов методом «упора» в сравнении с методом «рычага» и методом «вершина-комель» выше на 13% и 20% соответственно [7–А, 19–А, 20–А, 25–А, 26–А].

**Четвертая глава** посвящена исследованию процесса подъема хлыстов и сортиментов лесопогрузочными гидроманипуляторами. Для оценки динамической нагруженности гидроманипуляторов и поперечной устойчивости их базовых шасси, обоснования весовых и жесткостных параметров элементов подвески, шин, гидроманипулятора, определения рациональных соотношений между параметрами и режимами работы колесной гидроманипуляторной техники разработана математическая модель, описывающая динамическую систему «колесное транспортное средство – гидроманипулятор – предмет труда (пачка сортиментов либо хлыст)» [5–А, 8–А, 17–А]. Модель учитывает линейные и угловые

вые колебания системы в вертикальной плоскости, наличие ее подрессоренных и непрессоренных масс, упругую податливость подвески, шин, элементов гидроманипулятора и хлыста. В отличие от известных, модель учитывает тип базового шасси и упругие свойства аутригеров гидроманипулятора.

В качестве расчетных приняты подрессоренное шасси лесовозного тягача типа МАЗ 5434 (рисунок 4) и непрессоренное шасси машины перегрузочной типа Амкодор 2401. Расчетные параметры предмета труда и гидроманипулятора приняты по результатам экспериментальных исследований (глава 3). При этом массовые и геометрические параметры гидроманипулятора являются среднестатистическими для ряда гидроманипуляторов с грузовым моментом 130 кН·м.

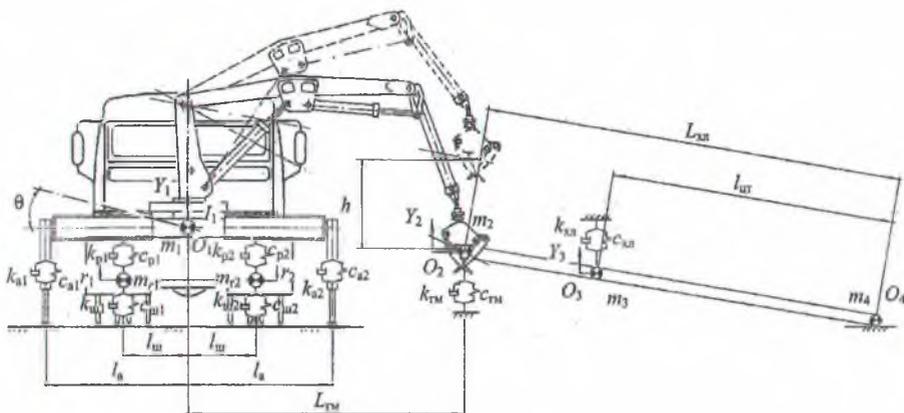


Рисунок 4 – Расчетная схема процесса подъема хлыста гидроманипулятором лесовозного автомобиля

Воздействие на систему задается перемещением штока управляющего гидроцилиндра стрелы. При этом предмет труда поднимается на высоту  $h$ . Масса поворотной колонны гидроманипулятора приводится к центру тяжести машины  $O_1$ , масса  $m_2$ , сосредоточенная в точке  $O_2$ , включает массу захвата, массу элементов стрелового оборудования гидроманипулятора, приведенную к точке подвеса захвата, а также массу груза. Модель хлыста принята трехмассовой.

Модель динамической системы «самозагружающийся автомобиль – гидроманипулятор – хлыст» характеризуется следующими обобщенными координатами: линейными перемещениями приведенных масс машины  $Y_1$ , груза  $Y_2, Y_3$ , рессор –  $r_1, r_2$ ; угловым перемещением остова машины –  $\theta$ . Параметрами динамической системы являются:  $I_1$  – момент инерции машины с гидроманипулятором;  $c_{a1}, c_{a2}, c_{ш1}, c_{ш2}, c_{p1}, c_{p2}, c_{tm}, c_{хл}, k_{a1}, k_{a2}, k_{ш1}, k_{ш2}, k_{p1}, k_{p2}, k_{tm}, k_{хл}$  – коэффициенты жесткости  $c_i$  и демпфирования  $k_i$  левых и правых аутригеров, шин и рессор машины, гидроманипулятора и хлыста соответственно;  $m_{r1}, m_{r2}$  – массы левой и правой рессор базовой машины;  $l_{ш}$  – половина колеи машины;  $l_a, L_{tm}$  – величины вылета аутригеров и стрелы гидроманипулятора;  $L_{хл}$  – длина хлыста [8–А].

Уравнения, описывающие свободные затухающие колебания элементов

динамической системы, получены с помощью уравнения Лагранжа II рода, и применительно к расчетной схеме на рисунке 4 представлены в виде:

$$\begin{aligned}
 & m_1 \ddot{Y}_1 + c_{p_1} \cdot (Y_1 - r_1 + l_{ш} \dot{\theta}) + c_{a_1} \cdot (Y_1 + l_a \dot{\theta}) + c_{p_2} \cdot (Y_1 - r_2 - l_{ш} \dot{\theta}) + c_{a_2} \cdot (Y_1 - l_a \dot{\theta}) + \\
 & + c_{гм} \cdot (h + Y_1 - L_{гм} \dot{\theta} - Y_2) + k_{p_1} \cdot (\dot{Y}_1 - \dot{r}_1 + l_{ш} \dot{\theta}) + k_{p_2} \cdot (\dot{Y}_1 - \dot{r}_2 - l_{ш} \dot{\theta}) + \\
 & + k_{a_1} \cdot (\dot{Y}_1 + l_a \dot{\theta}) + k_{a_2} \cdot (\dot{Y}_1 - l_a \dot{\theta}) + k_{гм} \cdot (\dot{h} + \dot{Y}_1 - L_{гм} \dot{\theta} - \dot{Y}_2) = 0; \\
 & J_1 \ddot{\theta} + c_{p_1} l_{ш} \cdot (Y_1 - r_1 + l_{ш} \dot{\theta}) + c_{a_1} l_a \cdot (Y_1 + l_a \dot{\theta}) - c_{p_2} l_{ш} \cdot (Y_1 - r_2 - l_{ш} \dot{\theta}) - \\
 & - c_{a_2} l_a \cdot (Y_1 - l_a \dot{\theta}) - c_{гм} L_{гм} \cdot (h + Y_1 - L_{гм} \dot{\theta} - Y_2) + \\
 & + k_{p_1} l_{ш} \cdot (\dot{Y}_1 - \dot{r}_1 + l_{ш} \dot{\theta}) + k_{a_1} l_a \cdot (\dot{Y}_1 + l_a \dot{\theta}) - k_{p_2} l_{ш} \cdot (\dot{Y}_1 - \dot{r}_2 - l_{ш} \dot{\theta}) - \\
 & - k_{a_2} l_a \cdot (\dot{Y}_1 - l_a \dot{\theta}) - k_{гм} L_{гм} \cdot (\dot{h} + \dot{Y}_1 - L_{гм} \dot{\theta} - \dot{Y}_2) = 0; \\
 & m_2 \ddot{Y}_2 + c_{гм} \cdot (h + Y_1 - L_{гм} \dot{\theta} - Y_2) + k_{гм} \cdot (\dot{h} + \dot{Y}_1 - L_{гм} \dot{\theta} - \dot{Y}_2) - \\
 & - c_{хл} \frac{l_{хл2}}{L_{хл}} \cdot (Y_3 - Y_2 \frac{l_{хл2}}{L_{хл}}) - k_{хл} \frac{l_{хл2}}{L_{хл}} \cdot (\dot{Y}_3 - \dot{Y}_2 \frac{l_{хл2}}{L_{хл}}) = 0; \\
 & m_3 \ddot{Y}_3 + c_{хл} \frac{l_{хл2}}{L_{хл}} \cdot (Y_3 - Y_2 \frac{l_{хл2}}{L_{хл}}) + k_{хл} \frac{l_{хл2}}{L_{хл}} \cdot (\dot{Y}_3 - \dot{Y}_2 \frac{l_{хл2}}{L_{хл}}) = 0; \\
 & m_{r_1} \ddot{r}_1 + c_{ш_1} r_1 + k_{ш_1} \dot{r}_1 - c_{p_1} \cdot (Y_1 - r_1 + l_{ш} \dot{\theta}) - k_{p_1} \cdot (\dot{Y}_1 - \dot{r}_1 + l_{ш} \dot{\theta}) = 0; \\
 & m_{r_2} \ddot{r}_2 + c_{ш_2} r_2 + k_{ш_2} \dot{r}_2 - c_{p_2} \cdot (Y_1 - r_2 - l_{ш} \dot{\theta}) - k_{p_2} \cdot (\dot{Y}_1 - \dot{r}_2 - l_{ш} \dot{\theta}) = 0.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Возмущающая функция в расчетах принималась кусочно-линейной:

$$h = \begin{cases} \frac{H}{b} t, & \text{при } t < b; \\ H, & \text{при } t \geq b. \end{cases} \tag{2}$$

где  $t$  – продолжительность вертикального перемещения стрелы под воз действием управляющего гидроцилиндра, с;  $H$  – высота подъема, м;  $b$  – время подъема, с.

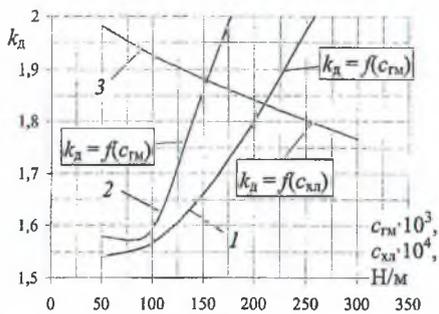
$Y_1 \cdot 10^{-2}$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$ ,  $h$ ,  $r_1 \cdot 10^{-2}$ ,  $r_2 \cdot 10^{-2}$ , м;  $\theta \cdot 10^{-2}$ , рад



Рисунок 5 – Расчетные кривые перемещений элементов системы при подъеме хлыста за комель

Дифференциальные уравнения решены в среде Maple по специально разработанным программам. Выходными параметрами модели являлись величины перемещений (рисунок 5) и ускорений элементов системы, а также динамические опорные реакции базового шасси. Оценка поперечной устойчивости машины производилась по условию  $R_1^{(д)} \leq R_1^{(ст)}$ , где  $R_1^{(д)}$  и  $R_1^{(ст)}$  – динамическая и статическая реакции опоры, противоположной стороне опрокидывания.

Исследованиями установлено, что при максимальном коэффициенте



1 – подъем пачки сортиментов;  
2, 3 – подъем комлевой части хлыста

**Рисунок 6 – Зависимость коэффициента динамичности системы от приведенной жесткости гидроманипулятора и жесткости хлыста**

те использования грузоподъемности на вылете стрелы 8 м расчетные параметры базовых шасси и гидроманипулятора обеспечивают поперечную устойчивость машины против опрокидывания: на вылете аутригеров не менее 1,7 м – при поддресоренном шасси и не менее 1,3 м – при неподдресоренном шасси. При этом с увеличением приведенной жесткости гидроманипулятора до 258,8 кН/м (в случае подъема пачки сортиментов) и 178 кН/м (в случае подъема хлыста за комель) коэффициент динамичности системы достигает значения равного 2 (рисунок 6), а максимальный момент, передающийся на основание колонны, составляет 271,7 кН·м [8–А, 28–А, 34–А].

Оценкой влияния параметров  $c_{гм}$  и  $L_{гм}$  на динамические показатели системы установлено, что максимальные амплитуды колебаний остова машины наблюдаются при вылете стрелы 6–8 м и жесткости гидроманипулятора 250–300 кН/м. В диапазоне значений  $L_{гм} = 2–10$  м и  $c_{гм} = 100–150$  кН/м линейные и угловые перемещения неподдресоренного базового шасси минимальны. При использовании гидроманипуляторов, установленных на колесном тракторном шасси, при погрузке хлыстов объемом более 1,3 м<sup>3</sup> жесткость  $c_{гм} > 200$  кН/м является критической ввиду резкого увеличения линейных и угловых ускорений масс машины и гидроманипулятора [34–А].

В пятой главе описаны этапы разработки модификации гидроманипулятора М 75 с увеличенным вылетом стрелы. С использованием разработанной математической модели (глава 4) проведена оценка динамической нагруженности гидроманипулятора в составе сортиментовоза [9–А, 27–А], результаты которой были учтены при разработке конструкторской документации опытного

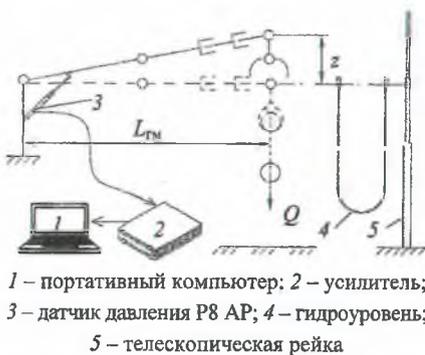
образца гидроманипулятора М 75-04. Изложена методика его исследовательских испытаний, которые включали стендовые испытания и испытания в составе сортиментовоза МАЗ 630308 в условиях Мозырского машиностроительного завода. При этом измеряемым параметром являлось давление в полостях гидроцилиндров механизмов поворота колонны, привода стрелы, рукояти и телескопического удлинителя [9–А, 29–А]. Для записи измеряемых параметров использовалась аппаратура Hottinger Baldwin Messtechnik в составе восьмиканального усилителя Spider 8



**Рисунок 7 – Усилитель Spider-8**



**Рисунок 8 – Датчики абсолютного давления P8 AP**



1 – портативный компьютер; 2 – усилитель;  
3 – датчик давления Р8 АР; 4 – гидрорурень;  
5 – телескопическая рейка

**Рисунок 9 – Схема определения  
приведенной изгибной жесткости  
гидроманипулятора**

там исследования свободных колебаний гидроманипулятора [13–А] (рисунок 9). Испытания проведены при  $L_{ГМ} = 2,6; 5,6$  и  $8,6$  м. При обработке экспериментальных диаграмм определялись: период  $T$ , частота  $\omega$ , две соседние ординаты процесса  $p_1$  и  $p_2$ , логарифмический декремент затухания  $\delta = \ln(p_1/p_2)$  колебаний. Искомые параметры определялись по зависимостям:

$$k_{ГМ} = 2m_{ГМ} \cdot \delta / T, \quad (3)$$

$$c_{ГМ} = m_{ГМ} \cdot \left( \omega^2 + \frac{k_{ГМ}^2}{4m_{ГМ}^2} \right), \quad (4)$$

где  $m_{ГМ}$  – масса стреловой группы, приведенная к точке подвеса грейферного захвата гидроманипулятора, кг.

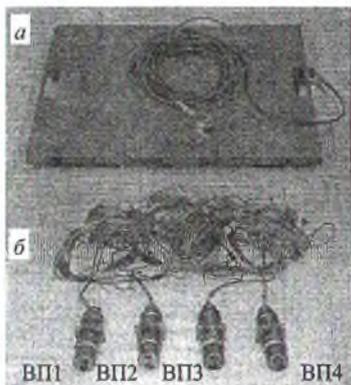
Диапазоны изменения динамических параметров гидроманипулятора в пределах его рабочей зоны определены в интервалах:  $c_{ГМ} = 36,4–586,8$  кН/м,  $k_{ГМ} = 0,6–1,9$  кН·с/м. Отклонение полученных значений приведенной жесткости гидроманипулятора от ее значений, установленных по результатам измерения упругого прогиба стреловой группы М 75-04 под весом груза, не превысило 10% [13–А].

Шестая глава посвящена опытно-промышленной апробации результатов исследований. Изложена методика и результаты экспериментальных исследований работы гидроманипулятора М 75-04 в составе автомобиля МАЗ 6303А8 и прицепа МАЗ 83781-020 в зоне производственной деятельности Мозырского опытного лесхоза, проведенных для оценки адекватности разработанной математической модели, а также оценки эффективности использования М 75-04.

При оценке адекватности модели задаваемыми параметрами являлись: скорость подъема  $v_n$ , масса груза  $m_{ГР}$  и вылет гидроманипулятора  $L_{ГМ}$ ; оценочными параметрами являлись амплитудные значения ускорений масс динамической системы  $\ddot{Y}_1, \ddot{Y}_2, \ddot{\theta}$ . Эксперимент проведен по составленному центральному композиционному В-плану второго порядка [14–А]. Параметры  $v_n^{\max}, v_n^{\min}, m_{ГР}^{\max}$  приняты на основании результатов стендовых испытаний М 75-04,  $m_{ГР}^{\min}$  – по результатам экспериментальных исследований. Диапазоны варьирования вылета

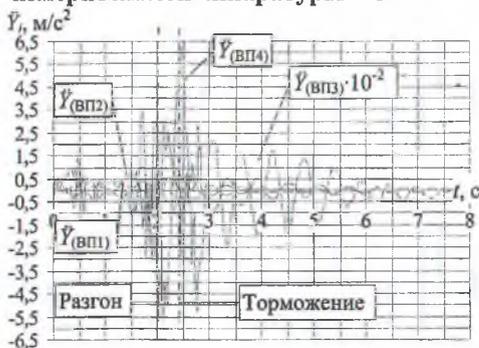
(рисунок 7), и тензометрических датчиков абсолютного давления Р8 АР на 50 МПа (рисунок 8), портативный компьютер. Для регистрации и обработки данных применялся программный пакет «Catman express 4.5\_R3».

Экспериментальными исследованиями установлены численные значения приведенных коэффициентов жесткости  $c_{ГМ}$  и затухания колебаний  $k_{ГМ}$  стреловой группы гидроманипулятора. Приведенная жесткость стрелы определялась одновременно по величине ее упругой деформации  $z$  (м) под весом груза  $Q$  (Н) из выражения  $c_{ГМ} = Q/z$  и по результа-

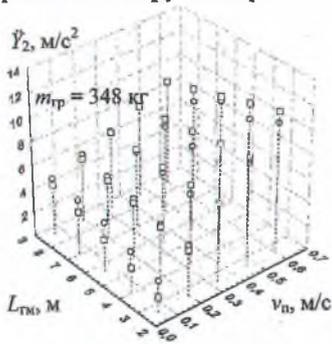


а – тензометрические весы;  
б – акселерометры МП-95

**Рисунок 10 – Элементы измерительной аппаратуры**



**Рисунок 11 – Переходный процесс при подъеме груза гидроманипулятором**



**Рисунок 12 – Отклонения теоретических (○) и экспериментальных (□) значений отклика  $\ddot{Y}_2$**

стрелы установлены с градацией 3 м согласно плану исследовательских испытаний по определению динамических параметров гидроманипулятора (глава 5). Для записи измеряемых величин использовалась аппаратура в составе усилителя Spider 8 (рисунок 7), тензометрических весов и четырех акселерометров МП-95 (рисунок 10), а также портативный компьютер. Акселерометры использовались для измерения линейных  $\ddot{Y}_1$ ,  $\ddot{Y}_2$  и угловых  $\ddot{\theta}$  ускорений масс динамической системы в вертикальной плоскости. Тензовесы применялись для подбора груза, соответствующего по массе уровням варьирования. Питание Spider 8 осуществлялось от аккумулятора автомобиля через преобразователь-стабилизатор.

Фрагмент экспериментальной диаграммы показан на рисунке 11.

При обработке экспериментальных данных проверялись однородность дисперсий откликов по критерию Кохрена и воспроизводимость опытов. Проведены оценка значимости коэффициентов регрессионной модели, ее адекватности экспериментальным данным по критерию Фишера, сравнительный анализ изменения величины выходных параметров  $\ddot{Y}_1$ ,  $\ddot{Y}_2$ ,  $\ddot{\theta}$ ,

вычисленных по статистическим зависимостям и по разработанной модели. Оценка степени точности модели выполнена в программном пакете Statistika V6. Отдельные результаты расчета отражены на рисунке 12. Уровень несоответствия теоретических и экспериментальных значений откликов ( $\ddot{Y}_1 - 5,94\%$ ,  $\ddot{Y}_2 - 7,82\%$ ,  $\ddot{\theta} - 9,86\%$ ) показал, что разработанная математическая модель учитывает основные закономерности, качественные и количественные показатели динамических процессов в условиях функционального назначения гидроманипулятора с достаточной для инженерных расчетов точностью [14–А].

Для оценки экономического эффекта от использования гидроманипулятора М 75-04 проведены соответствующие экспериментальные исследования при погрузке, самопогрузке, выгрузке и самовыгрузке сортиментов по разработанной автором методике (глава 3). По результатам расчетов условно-годовая экономия затрат предприятия от использования М 75-04 составила 84,4 млн. руб. (в ценах 2010 года). Социальный эффект от создания нового отечественного гидроманипулятора выражен увеличением количества рабочих мест, повышением заработной платы работников, а также повышением стабильности хода технологического процесса погрузки и выгрузки сортиментов за счет улучшения условий труда водителя-оператора.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Сформулированы основные направления повышения эксплуатационных характеристик лесопогрузочных гидроманипуляторов для условий Республики Беларусь [32–А], в рамках реализации которых: обоснована величина вылета и кинематическое исполнение гидроманипулятора М 75-04, предусматривающее увеличение длины его рукояти посредством дополнительной телескопической секции с гидравлическим приводом [21–А, 32–А]; для выполнения подъемно-переместительных операций с хлыстами и сортиментами предложена конструктивная схема колесного гидроманипуляторного лесопогрузчика, отличающаяся наличием в конструкции гидроманипулятора гидроцилиндра наклона его колонны [2–А, 23–А, 32–А], а также управляемого упора в виде сектора с ограничителем продольного перемещения комлевой части хлыста [37–А], что позволит снизить динамические нагрузки при работе машины и повысить ее курсовую устойчивость; разработан способ изготовления покрытия погрузочных площадок [15–А, 36–А], позволяющего улучшить условия перемещения по ним колесной гидроманипуляторной техники с учетом лесоводственно-экологических требований.

Лабораторными исследованиями установлено, что для обеспечения погрузки сортиментов длиной менее 3,5 м без «заламывания» рамы прицепа автопоезда МАЗ 630308 + МАЗ 83781-020 расчетный вылет гидроманипуляторов М 75 и М 90 должен быть увеличен на 0,825 м и составить 8,625 м [9–А].

2. Предложена методика комплексной оценки эффективности применения гидроманипуляторов при погрузке хлыстов и сортиментов на лесовозный транспорт в системе «гидроманипулятор – предмет труда» по удельным временным и энергозатратам, часовой и сменной производительностям, позволяющая осуществить рациональный выбор системы машин на лесопогрузочных операциях с учетом условий эксплуатации [7–А, 35–А]. Установлены закономерности изменения технико-эксплуатационных показателей гидроманипуляторов при загрузке неагрегатированного гидроманипулятором транспорта и при самозагрузке автопоездов. Получены зависимости для определения удельных временных [11–А, 12–А] и энергозатрат [7–А] гидроманипуляторов различной грузоподъемности

на выполнение лесопогрузочных операций с хлыстами и сортиментами.

Установлено, что гидроманипуляторы с грузовым моментом до 90 кН·м необходимо использовать преимущественно при погрузке сортиментов. Гидроманипуляторами универсального использования может являться оборудование с грузовым моментом 90–130 кН·м (при работе с хлыстами объемом не более 1,4 и 1,7 м<sup>3</sup> соответственно). В диапазоне изменения величины грузового момента от 70 до 240 кН·м наибольший коэффициент использования грузоподъемности имеет оборудование с грузовым моментом 90 кН·м [33–А]. Гидроманипуляторы класса 130–240 кН·м наиболее эффективны при погрузке пачек хлыстов объемом 2,6–3,7 м<sup>3</sup>. В указанных условиях эксплуатации грузоподъемность данного оборудования может обеспечить полную замену перекидных лесопогрузчиков ПЛ-1В. При этом энергоемкость погрузки хлыстов гидроманипуляторами в сравнении с ПЛ-1В сократится в 1,3–3,4 раза, что удовлетворяет требованиям длительной лесоэксплуатации и основным критериям ресурсосбережения. Энергозатраты на погрузку сортиментов гидроманипуляторами изменяются в диапазоне – 0,04–0,83 кВт·ч/м<sup>3</sup>, на погрузку хлыстов гидроманипуляторами – 0,09–0,59 кВт·ч/м<sup>3</sup>. Затраты энергии на погрузку сортиментов гидроманипулятором самозагружающегося автомобиля в 1,36–1,39 раза больше чем при его самозагрузке, хлыстов – в 1,07–1,1 раза соответственно. Энергоемкость погрузки хлыстов методом «упора» в сравнении с методом «рычага» и методом «вершина-комель» выше на 13% и 20% соответственно [7–А, 19–А, 20–А, 26–А].

3. Разработана математическая модель динамической системы процесса погрузки хлыстов и сортиментов гидроманипуляторами, отличающаяся учетом типа их базового колесного шасси, упруго-демпфирующих связей в аутригерах и позволяющая на стадии проектирования производить оценку динамического нагруженности гидроманипулятора и поперечной устойчивости его базового шасси, обосновывать и выбирать их конструктивные параметры [5–А, 8–А, 17–А]. Адекватность модели подтверждена результатами сравнения теоретических и экспериментальных исследований изменения величины максимальных ускорений масс динамической системы «самозагружающийся автомобиль – гидроманипулятор – пачка сортиментов» на переходном режиме при подъеме груза. Максимальное отклонение экспериментально установленных значений динамических параметров от соответствующих значений откликов математической модели составило 9,86% [14–А]. Установлено, что при максимальном коэффициенте использования грузоподъемности гидроманипулятора с грузовым моментом 130 кН·м на вылете стрелы 8 м инерционно-массовые и жесткостные параметры расчетных базовых шасси и гидроманипулятора обеспечивают поперечную устойчивость машины по опрокидыванию на вылете аутригеров не менее 1,7 м при подрессоренном шасси (типа МАЗ 5434) и не менее 1,3 м – при неподрессоренном шасси (типа Амкордор 2401). При этом с увеличением приведенной жесткости гидроманипулятора до 258,8 кН/м (в случае подъема пачки сортиментов) и 178 кН/м (в случае подъема хлыста за комель) коэффициент динамичности системы достигает значения равного 2, а максимальный момент, передающийся на основание колонны гидроманипулятора, составляет 271,7 кН·м [8–А, 28–А, 34–А].

4. Экспериментальными исследованиями свободных колебаний смонтированного на автомобиле опытного образца гидроманипулятора М 75-04 установлены численные значения и нелинейный характер изменения его приведенных коэффициентов жесткости и затухания колебаний в зависимости от величины вылета стреловой группы. Величина изгибной жесткости гидроманипулятора в пределах его рабочей зоны находится в диапазоне от 36,4 до 584,4 кН/м, коэффициента затухания колебаний – от 0,6 до 1,9 кН·с/м соответственно. Отклонение полученных значений приведенной жесткости гидроманипулятора от ее значений, установленных по результатам измерения упругого прогиба стреловой группы М 75-04 под весом груза, не превысило 10% [13–А].

5. Результаты исследований использованы при обосновании на стадии проектирования технических характеристик гидроманипулятора М 75-04 [9–А, 27–А, 32–А], создание которого позволило получить социальный эффект, заключающийся в повышении стабильности хода технологического процесса погрузки и выгрузки сортиментов за счет улучшения условий труда водителя-оператора. Условно-годовая экономия затрат предприятия от использования опытного образца М 75-04 составила 84,4 млн. руб. в ценах 2010 г. Серийное производство гидроманипулятора М 75-04 в 2008–2012 гг. позволило сократить импорт аналогичной продукции в страну на 422 единицы общей стоимостью более 101,8 млрд. руб. в ценах 2013 года. Гидроманипулятор М 75-04 включен в Систему машин для реализации передовых современных технологий лесозаготовительных, лесохозяйственных, лесовосстановительных работ и обеспечения рационального использования лесных ресурсов на 2011–2015 годы.

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. Предложенная методика комплексной оценки эффективности применения лесопогрузочных гидроманипуляторов, полученные зависимости удельных временных и энергозатрат на погрузку ими хлыстов и сортиментов на лесовозный транспорт рекомендуются к использованию на стадии выбора технических параметров гидроманипуляторного оборудования для проведения погрузочно-разгрузочных операций с хлыстами и сортиментами, что обеспечит практический эффект при их планировании и организации с учетом условий эксплуатации (апробированы в условиях производственной деятельности ГЛХУ «Калинковичский лесхоз» и ГОЛХУ «Мозырский опытный лесхоз») [7–А, 35–А].

2. Разработанная математическая модель динамической системы процесса погрузки хлыстов и сортиментов гидроманипуляторами, результаты экспериментальных исследований свободных колебаний гидроманипулятора М 75-04, смонтированного на шасси МАЗ 630308, могут быть использованы при проектировании и испытании лесопогрузочных гидроманипуляторов (апробированы на ОАО «Мозырский машиностроительный завод») [5–А, 8–А, 13–А, 21–А, 32–А].

3. Результаты исследований целесообразно использовать в учебном процессе (внедрены на кафедре транспорта леса БГТУ по дисциплинам «Основы научных исследований», «Дорожно-строительные машины»).

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

### Статьи в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК

1–А. Ермалицкий, А.А. Применение утилизированных автопокрышек для укрепления оснований погрузочных площадок и подъездных путей на лесосеках / А.А. Ермалицкий // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – Минск, 2002. – Вып. X. – С. 122–124.

2–А. Ермалицкий, А.А. Организация погрузочно-разгрузочных работ колесным манипуляторным лесопогрузчиком / А.А. Ермалицкий // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2003. – Вып. XI. – С. 143–147.

3–А. Ермалицкий, А.А. Производственные условия и средства механизации погрузочных работ на лесосеках / А.А. Ермалицкий // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2004. – Вып. XII. – С. 104–107.

4–А. Насковец, М.Т. Анализ наличия и использования лесопогрузочных машин и механизмов основных предприятий лесного комплекса Республики Беларусь / М.Т. Насковец, А.А. Ермалицкий // Труды БГТУ. Сер. II. Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2005. – Вып. XIII. – С. 113–117.

5–А. Ермалицкий, А.А. Обоснование расчетных моделей колесных гидроманипуляторных лесопогрузчиков / А.А. Ермалицкий, Д.В. Клоков // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2005. – Вып. XIII. – С. 122–126.

6–А. Ермалицкий, А.А. Сравнительная оценка эксплуатационной эффективности лесопогрузочной техники / А.А. Ермалицкий, Д.В. Клоков // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2006. – Вып. XIV. – С. 133–137.

7–А. Ермалицкий, А.А. Методика оценки средств механизации лесопогрузочных операций по критерию энергоемкости / А.А. Ермалицкий, Д.В. Клоков // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2007. – Вып. XV. – С. 63–67.

8–А. Ермалицкий, А.А. Оценка динамических параметров лесотранспортной системы при выполнении погрузочно-разгрузочных работ / А.А. Ермалицкий, Д.В. Клоков // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 340–344.

9–А. Ермалицкий, А.А. Проектирование, изготовление и испытание модернизированной модификации лесопогрузочного гидроманипулятора М-75 / А.А. Ермалицкий // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 348–352.

10–А. Ермалицкий, А.А. Проблемы эксплуатации фронтальных колесных лесопогрузчиков в лесных массивах / А. А. Ермалицкий, М.Т. Насковец // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2009. – Вып. XVII. – С. 39–42.

11–А. Ермалицкий, А.А. Результаты экспериментальных исследований процесса погрузки хлыстов навесными гидроманипуляторами / А. А. Ермалицкий // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2009. – Вып. XVII. – С. 43–47.

12–А. Ермалицкий, А. А. Результаты экспериментальных исследований процесса погрузки сортиментов навесными гидроманипуляторами / А. А. Ерма-

лицкий // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 65–70.

13–А. Ермалицкий, А. А. Результаты расчетно-экспериментального исследования параметров демпфирования гидроманипулятора М 75–04 / А. А. Ермалицкий // Труды БГТУ. – 2011. – №2: Лесная и деревообработ. пром-сть. – С. 52–55.

14–А. Ермалицкий, А. А. Методика проведения и результаты экспериментальных исследований по оценке точности имитационной модели лесопогрузочной системы «самозагружающийся автомобиль–манипулятор–пачка сортиментов» / А. А. Ермалицкий // Труды БГТУ. – 2011. – №2: Лесная и деревообработ. пром-сть. – С. 56–61.

### Статьи в научных сборниках

15–А. Ермалицкий, А.А. Способы устройства покрытий на основаниях пунктов погрузки древесины и подъездных путей лесосек / А.А. Ермалицкий, М.Т. Насковец // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. по итогам 5-й Междунар. науч.-техн. конф. / Брянская гос. инженерно-технол. академия; редкол.: Е.А. Памфилов (отв. ред.) [и др.]. – Брянск, 2004. – Вып. 8. – С. 179–181.

16–А. Ермалицкий, А.А. Механизация погрузки лесоматериалов в лесных массивах / А.А. Ермалицкий, М.Т. Насковец // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. по итогам Междунар. науч.-техн. конф. / Брянская гос. инженерно-технол. академия; под ред. Е.А. Памфилова. – Брянск, 2004. – Вып. 9. – С. 182–185.

17–А. Ермалицкий, А.А. Математическое моделирование процессов погрузки пачек сортиментов и хлыстов колесным лесопогрузчиком с гидроманипулятором / А.А. Ермалицкий, Д.В. Клоков, М.Т. Насковец // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-техн. конф. / Брянская гос. инженерно-технол. академия; редкол.: Е.А. Памфилов (отв. ред.) [и др.]. – Брянск, 2005. – Вып. 11. – С. 8–12.

18–А. Ермалицкий, А.А. Экспериментальный анализ производительности машин на погрузке хлыстов / А.А. Ермалицкий, Д.В. Клоков, А.К. Гармаза // Актуальные проблемы лесного комплекса : сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-техн. конф. / Брянская гос. инженерно-технол. академия; редкол.: Е.А. Памфилов (отв. ред.) [и др.]. – Брянск, 2006. – Вып. 14. – С. 11–15.

19–А. Ермалицкий, А.А. Обоснование выбора технологии погрузки древесины с учетом экологической и энергетической оценки / А.А. Ермалицкий, Д.В. Клоков // Система управления экологической безопасностью: сб. тр. заоч. междунар. науч.-практ. конф. / УГТУ-УПИ; под ред. Е.Р. Магарил. – Екатеринбург, 2007. – С. 229–233.

20–А. Ермалицкий, А.А. Сравнительный расчет энергетической эффективности лесопогрузочной техники / А.А. Ермалицкий, Д.В. Клоков, М.Т. Насковец // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-техн. конф. / Брянская гос. инженерно-технол. академия; редкол.: Е.А. Памфилов (отв. ред.) [и др.]. – Брянск, 2007. – Вып. 18. – С. 12–16.

21–А. Насковец, М.Т. Концептуальные вопросы конструктивных технических решений и совершенствования лесопогрузочных манипуляторов / М.Т. Насковец, А.А. Ермалицкий, В.М. Ходосовский // Наука и инновации ВУЗов производству: взаимодействие – эффективность, перспективы: сб. статей и тезисов науч.-практ. семинара, Минск, 22–23 мая 2007 г. / УП «Технопарк БНТУ «Метолит»; под ред. Б.М. Хрусталева и О.П. Реута. – Минск, 2008. – С. 81–85.

22–А. Ермалицкий, А.А. Особенности воздействия фронтальных лесопогрузчиков на окружающую среду / А.А. Ермалицкий, Д.В. Клоков // Система управления экологической безопасностью: сб. тр. 3-й заоч. междунар. науч.-практ. конф. / УГТУ-УПИ; под ред. Е.Р. Магарил. – Екатеринбург, 2009. – С. 157–161.

### Материалы научных конференций

23–А. Ходосовский, В.М. Манипуляторный погрузчик на колесном ходу / В.М. Ходосовский, М.Т. Насковец, А.А. Ермалицкий // Прогрессивные технологии, технологические процессы и оборудование: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 15–16 мая 2003 г. / Могилевский гос. техн. ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2003. – С. 317–319.

24–А. Ермалицкий, А.А. Гидроманипуляторные погрузочно-перегрузочные машины как эффективное средство механизации лесопогрузочных работ / А.А. Ермалицкий // Материалы всероссийской науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: материалы всероссийской науч.-техн. конф., Екатеринбург, апрель 2005 г. / Урал. гос. лесотехн. ун-т; редкол.: С.В. Залесов [и др.]. – Екатеринбург, 2005. – С. 151–152.

25–А. Насковец, М.Т. Ресурсосберегающая технология погрузки древесины гидроманипуляторами / М.Т. Насковец, А.А. Ермалицкий // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы докладов Междунар. науч.-технич. конф., Минск, 16–18 нояб. 2005 г.: в 2 ч. / Беларус. гос. технол. ун-т; редкол.: И.М. Жарский [и др.]. – Минск, 2005. – Ч.2. – С. 249–251.

26–А. Ермалицкий, А.А. Энергоемкость лесопогрузочных операций / А.А. Ермалицкий, Д.В. Клоков // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 19–20 апр. 2007 г.: в 3 ч. / Белорусско-Российский ун-т; редкол.: И.С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2007. – Ч.2. – С. 23–24.

27–А. Насковец, М.Т. Разработка гидроманипулятора с удлиненным вылетом для погрузки сортиментов / М.Т. Насковец, А.А. Ермалицкий // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 19–20 апр. 2007 г.: в 3 ч. / Белорусско-Российский ун-т; редкол.: И.С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2007. – Ч.2. – С. 45–46.

28–А. Ермалицкий, А.А. Анализ показателей динамической нагруженности самозагружающегося лесовозного автомобиля / А.А. Ермалицкий, Д.В. Клоков // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 17–18 апр. 2008 г.: в 3 ч. / Белорусско-Российский ун-т; редкол.: И.С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев,

2008. – Ч.3. – С. 26–27.

29–А. Насковец, М.Т. Динамические испытания опытного образца лесопогрузочного гидроманипулятора М 75–04 / М.Т. Насковец, А.А. Ермалицкий // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 17–18 апр. 2008 г.:* в 3 ч. / Белорусско-Российский ун-т; редкол.: И.С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2008. – Ч.3. – С. 59–60.

30–А. Ермалицкий, А.А. Анализ научных исследований в области повышения технического уровня лесопогрузочных работ с использованием перекидных лесопогрузчиков / А.А. Ермалицкий // *Динамика изследвания – 2008: материали за IV Междунар. научна практична конф., София, 16–31 юли 2008 г. / «Бял ГРАД-БГ» ООД; под ред.: Милко Тодоров Петров. – София, 2008. – Т. 28. Технологии. – С. 61–64.*

31–А. Ермалицкий, А.А. Влияние технологии работы и конструкции фронтальных лесопогрузчиков на несущую способность оснований погрузочных пунктов / А.А. Ермалицкий, Д.В. Клоков // *Инновационные технологии в строительстве автомобильных дорог, мостов и подготовке инженерных кадров в Республике Беларусь: материалы 6-й Междунар. науч.-техн. конф. «Наука образованию, производству, экономике», Минск, 17–18 дек. 2008 г. / Белорус. нац. техн. ун-т»; редкол.: И.И. Леонович (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2008. – С. 161–165.*

32–А. Насковец, М.Т. Применение манипуляторного оборудования для погрузки штучных и объемных грузов / М.Т. Насковец, В.М. Ходосовский, А.А. Ермалицкий // *Тракторы, автомобили, мобильные энергетические средства: проблемы и перспективы развития: доклады Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 11–14 февр. 2009 г. / Белорус. гос. агр.-техн. ун-т; редкол. А.В. Кузьмицкий [и др.]. – Минск, 2009. – С. 393–398.*

33–А. Ермалицкий, А.А. Определение коэффициента использования грузоподъемности навесных гидроманипуляторов при погрузке хлыстов / А.А. Ермалицкий, Д.В. Клоков // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 16–17 апр. 2009 г.:* в 3 ч. / Белорусско-Российский ун-т; редкол.: И.С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2009. – Ч.2. – С. 144–145.

34–А. Ермалицкий, А.А. Оценка колебательного процесса системы «колесный лесопогрузчик – гидроманипулятор – предмет труда» / А.А. Ермалицкий, Д.В. Клоков // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 22–23 апр. 2010 г.:* в 3 ч. / Белорусско-Российский ун-т; редкол.: И.С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2010. – Ч.2. – С. 26–27.

35–А. Ермалицкий, А.А. Методика экспериментальных исследований процесса погрузки хлыстов и сортиментов / А.А. Ермалицкий, Д.В. Клоков // *Устойчивое управление лесами и рациональное лесопользование: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 18–21 мая 2010 г.:* в 2 кн. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: И.М. Жарский (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2010. – Кн.1. – С. 206–210.

## Патент

36–А. Способ изготовления покрытия временных дорог и площадок: пат. 8294 Респ. Беларусь, МПК Е 01С 5/18 / М.Т. Насковец, С.А. Севрук, А.А. Ермалицкий, Л.Ч. Станкевич; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № а 20030476; заявл. 30.05.03; опубл. 30.08.06 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – №4. – С. 89.

### Заявка на выдачу патента на полезную модель

37–А. Гидроманипулятор для погрузки хлыстов и сортиментов: заявка на выд. патента Республики Беларусь на полезную модель, МПК А 01G 23/08 / В.А. Симанович, А.А. Ермалицкий, М.Т. Насковец, С.Е. Арико, М.А. Данилович; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № и 20130462 от 31.05.13. – 7 с.

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the end, positioned in the center of the page.

## Ермаліцкі Андрэй Аляксандравіч

**Інтэнсіфікацыя пагрузкі драўніны гідраманіпулятарамі на колавых шасі з забеспячэннем лесаводча-экалагічных патрабаванняў**

**Ключавыя словы:** лесапагрузачны гідраманіпулятар, дынамічная сістэма, папярочная ўстойлівасць, грузавы момант, вылет стралы, мадэрнізацыя канструкцыі, тэхніка-эксплуатацыйная эфектыўнасць.

**Мэта працы:** павышэнне эфектыўнасці выкарыстання гідраманіпулятараў пры пагрузцы хлыстоў і сартыментаў на лесавозны транспарт шляхам абгрунтавання іх рацыянальных параметраў з улікам тыпу базавага колавага шасі і лесаводча-экалагічных патрабаванняў.

**Метады даследавання:** сістэмны аналіз, метады матэматычнай статыстыкі, матэматычнага мадэлявання, параметрычнай аптымізацыі, тэарэтычнай механікі, тэорыя планавання эксперыменту.

**Апаратура:** узмацняльнік Spider 8, тэнзаметрычныя датчыкі абсалютнага ціску P8 AP, тэнзаметрычныя вагі, акселерометры МП-95.

**Навуковая навізна атрыманых вынікаў:** прапанавана метадыка комплекснай ацэнкі эфектыўнасці прымянення гідраманіпулятараў пры пагрузцы хлыстоў і сартыментаў на лесавозны транспарт па ўдзельных часавых і энергазатратах, гадзіннай і зменнай прадукцыйнасцях; упершыню абгрунтаваны рэкамендацыі па рацыянальным прымяненні навісных гідраманіпулятараў на пагрузцы хлыстоў і сартыментаў; распрацавана матэматычная мадэль дынамічнай сістэмы працэсу пагрузкі хлыстоў і сартыментаў гідраманіпулятарамі, якая адрозніваецца ўлікам тыпу іх базавага колавага шасі і пругкіх уласцівасцяў аўтрыгераў; эксперыментальна ўстаноўлены значэнні дынамічных параметраў гідраманіпулятара ў складзе сартыментавоза ў залежнасці ад велічыні вылету стралавага абсталявання.

**Ступень выкарыстання:** пры планаванні і арганізацыі лесапагрузачных аперацый у частцы прагназавання выдаткаў часу і паліва на пагрузку хлыстоў і сартыментаў гідраманіпулятарамі ў ДЛГУ «Калінкавіцкі лясгас» і ДВЛГУ «Мазырскі вопытны лясгас», пры распрацоўцы канструктарскай дакументацыі і выпрабаванні гідраманіпулятара М 75-04 на ААТ «Мазырскі машынабудаўнічы завод».

**Вобласць прымянення:** пры выбары рацыянальных параметраў гідраманіпулятараў для пагрузкі хлыстоў і сартыментаў на лесавозны транспарт; пры абгрунтаванні тэхнічных характарыстык лесапагрузачных гідраманіпулятараў на стадыі праектавання з улікам тыпу іх базавага колавага шасі і пругка-дэмпфіруючых сувязяў у аўтрыгерах.

## РЕЗЮМЕ

Ермалицкий Андрей Александрович

### **Интенсификация погрузки древесины гидроманипуляторами на колесных шасси с обеспечением лесоводственно-экологических требований**

**Ключевые слова:** лесопогрузочный гидроманипулятор, динамическая система, поперечная устойчивость, грузовой момент, вылет стрелы, модернизация конструкции, технико-эксплуатационная эффективность.

**Цель работы:** повышение эффективности использования гидроманипуляторов при погрузке хлыстов и сортиментов на лесовозный транспорт путем обоснования их рациональных параметров с учетом типа базового колесного шасси и лесоводственно-экологических требований.

**Методы исследования:** системный анализ, методы математической статистики, математического моделирования, параметрической оптимизации, теоретической механики, теория планирования эксперимента.

**Аппаратура:** усилитель Spider 8, тензометрические датчики абсолютного давления Р8 АР, тензометрические весы, акселерометры МП-95.

**Научная новизна полученных результатов:** предложена методика комплексной оценки эффективности применения гидроманипуляторов при погрузке хлыстов и сортиментов на лесовозный транспорт по удельным временным и энергозатратам, часовой и сменной производительностям; впервые обоснованы рекомендации по рациональному применению навесных гидроманипуляторов на погрузке хлыстов и сортиментов; разработана математическая модель динамической системы процесса погрузки хлыстов и сортиментов гидроманипуляторами, отличающаяся учетом типа их базового колесного шасси и упругих свойств аутригеров; экспериментально установлены значения динамических параметров гидроманипулятора в составе сортиментовоза в зависимости от величины вылета стрелового оборудования.

**Степень использования:** при планировании и организации лесопогрузочных операций в части прогнозирования затрат времени и расхода топлива на погрузку хлыстов и сортиментов гидроманипуляторами в ГЛХУ «Калинковичский лесхоз» и ГОЛХУ «Мозырский опытный лесхоз», при разработке конструкторской документации и испытании гидроманипулятора М 75-04 на ОАО «Мозырский машиностроительный завод».

**Область применения:** при выборе рациональных параметров гидроманипуляторов для погрузки хлыстов и сортиментов на лесовозный транспорт; при обосновании технических характеристик лесопогрузочных гидроманипуляторов на стадии проектирования с учетом типа их базового колесного шасси и упруго-демпфирующих связей в аутригерах.

## SUMMARY

Yermalitski Andrey Aleksandrovich

### **Enhancement of Timber Loading with Hydraulic Manipulators on Wheeled Chassis and Compliance with Silvicultural and Environmental Requirements**

**Key words:** Timber loading hydraulic manipulators, dynamic system, transverse stability, load moment, boom length, desing improvement, engineering and operating efficiency.

**The goal of the work:** To improve efficiency of use of hydraulic manipulators for tree length and roundwood loading to log trucks by means of justification of their rational parameters with regard to their base wheel chassis, and silvicultural and environmental requirements.

**Research methods:** System analysis, mathematical statistician, mathematical simulation, parameter optimization, engineering mechanics, theory in experimental design.

**Equipment:** Spider 8 amplifier, P8 AP absolute pressure strain gauges, tensometric balance, MII-95 enhancement gauges.

**Scientific novelty of the obtained results:** A method of integrated assessment of efficiency of use of the hydraulic manipulators for tree length and roundwood loading of the log trucks by specific time and energy expenditures, per hour and per shift efficiency has been proposed. Recommendations on the efficient use of the attachable hydraulic manipulators for tree length and roundwood loading have been justified for the first time. A mathematical model of dynamic system of tree length and roundwood loading with the hydraulic manipulators has been developed. This model is distinguished by its regard to their base wheel chassis and the elastic characteristics of the outriggers. The dynamic parameters of the hydraulic manipulators as part of the short log truck depending on the boom length have been deduced from experiments.

**Extent of implementation:** For planning and arrangement of the timber loading operations related to prediction of the standard time and fuel consumption rate for tree length and roundwood loading with the hydraulic manipulators at Kalinkovichy Forestry and Mozyr Pilot Forestry; for development of the design documentation and trial run of M 75-04 hydraulic manipulator manufactured by Mozyr Maschine-Building Plant.

**Applicability:** For selection of the rational parameters of the hydraulic manipulator used for tree length and roundwood loading to the log truck; justification of the specifications of the timber loading hydraulic manipulators at the design stage with regard to their base wheel chassis and the elastically deformed connections in the outriggers.

Научное издание

Ермалицкий Андрей Александрович

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПОГРУЗКИ ДРЕВЕСИНЫ  
ГИДРОМАНИПУЛЯТОРАМИ НА КОЛЕСНЫХ ШАССИ  
С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ЛЕСОВОДСТВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ  
ТРЕБОВАНИЙ**

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук  
по специальности 05.21.01 – технология и машины лесозаготовок  
и лесного хозяйства

Ответственный за выпуск А.А. Ермалицкий

Подписано в печать 22.08.2013. Формат 60×84 1/16.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 1,4. Уч.-изд. л. 1,4.  
Тираж 60 экз. Заказ 321

Издатель и полиграфическое исполнение:  
УО «Белорусский государственный технологический университет».  
ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.  
ЛП № 02330/0150477 от 16.01.2009.  
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.