

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 630\*31:504.6+62 (043.3)

**ПРОТАС**  
Павел Александрович

**АКТУАЛИЗАЦИЯ ЛЕСОСЫРЬЕВОГО ПОТЕНЦИАЛА  
ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ  
СОВМЕСТИМОСТИ СИСТЕМ МАШИН С ПОЧВОГРУНТАМИ  
НА ПРИНЦИПАХ УСТОЙЧИВОГО ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ**

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.21.01 – технология и машины лесозаготовок  
и лесного хозяйства

Минск, 2010

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет»

**Научный руководитель** Федоренчик Александр Семёнович,  
кандидат технических наук, доцент,  
учреждение образования «Белорусский  
государственный технологический  
университет», кафедра лесных машин  
и технологии лесозаготовок

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

Тумашик Игорь Иванович,  
кандидат технических наук, доцент,  
учреждение образования «Белорусский  
государственный технологический  
университет», кафедра транспорта леса

**Оппонирующая организация** РУП «Научно-практический центр  
Национальной академии наук Беларуси  
по механизации сельского хозяйства»

Защита состоится «29» июня 2010 г. в 15.00 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, тел. (017) 227-83-41

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

Автореферат разослан «28» мая 2010 г.

Ученый секретарь  
совета по защите диссертаций,  
кандидат технических наук, доцент



С. П. Мохов

## ВВЕДЕНИЕ

В Республике Беларусь ежегодно заготавливается около 14 млн. м<sup>3</sup> древесного сырья, однако из-за избыточной заболоченности территории выделенный лесосечный фонд осваивается только на 80–85%, что напрямую зависит от эксплуатационной совместимости лесозаготовительных машин с почвогрунтами. Увеличение расчетной лесосеки, а также потребностей деревообрабатывающих предприятий концерна «Беллесбумпром» в древесных ресурсах с 2,5 до 6,6 млн. м<sup>3</sup> до 2020 г. требует решения вопросов актуализации лесосырьевого потенциала при эффективном использовании систем машин на лесосечных работах. Кроме того, наметившийся дефицит трудовых ресурсов при возрастающих объемах лесозаготовок настоятельно требует перехода к освоению лесосек специализированными системами машин, исключаящими ручной труд.

С другой стороны, для выхода на внешние рынки продукции лесного комплекса и лесного машиностроения первостепенное значение приобретает реализация принципов устойчивого лесопользования, важной составляющей которых является экологическая совместимость движителей машин с почвогрунтами, так как при проведении лесосечных работ происходит деградация лесных почвогрунтов, что отрицательно сказывается на возобновлении и продуктивности лесов, приводит к неполному освоению труднодоступного лесосечного фонда. С увеличением в перспективе доли несплошных рубок вопрос эксплуатационно-экологической совместимости лесных машин со средой приобретает еще большую актуальность, так как при уплотнении и деформации почвогрунтов повреждаются корни деревьев и снижается устойчивость древостоев.

Ухудшение сырьевых характеристик лесонасаждений и возросшие требования к сохранению лесной среды вызывают необходимость совместного решения вопросов эффективности лесозаготовок и лесовосстановления, разработки методов оценки влияния движителей машин на почвогрунты и способов повышения степени освоения лесосечного фонда. В этой связи актуализация лесосырьевого потенциала путем обеспечения эксплуатационно-экологической совместимости систем машин с почвогрунтами, а также минимизация затрат по комплексу «рубка – лесовосстановление» являются важными направлениями для развития лесного комплекса республики, имеющими научное и практическое значение.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с крупными научными программами и темами.** Тема диссертационной работы соответствует приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований в Республике Беларусь на 2000 – 2010 гг. и научному направлению кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок БГТУ. Диссертационная работа выполнялась в рамках следующих НИР: ГБ 21-109 «Разработка теоретических основ экологического нормирования ан-

1360 дф

БІБЛІЯТЭКА  
Беларускага дзяржаўнага  
Тэхналагічнага ўніверсітэта

тропогенных нагрузок на лесные экосистемы, связанных с лесозаготовительными работами», № ГР 20012942, 2001–2005 гг. (ГПОФИ «Лесные биогеоценозы»); БС 23-213 «Разработать технологию освоения заболоченных лесосек с созданием лесной машины повышенной проходимости на базе лесного трактора МТЗ», № ГР 20033857, 2003–2005 гг. (ГНТП «Леса Беларуси»); ГБ 20-004 «Прогнозирование и разработка методических основ оценки тягово-сцепных свойств и проходимости создаваемого семейства полноприводных колесных лесных машин на базе тракторов «Беларус», № ГР 2000920, 2000–2001 гг.; БС 26-213 «Разработать и внедрить технологию применения системы машин в составе валочно-сучкорезно-раскряжевной (харвестер) и погрузочно-транспортной (форвардер) машин с созданием харвестера для рубок промежуточного пользования на базе лесного шасси 4К4» № ГР 20065294, 2006–2009 гг.; БС 26-206 «Разработать и внедрить комплексную систему оптимизации и повышения эффективности освоения лесосечного фонда на основе экологизированных и ресурсосберегающих технологий и систем лесных машин с использованием ГИС» № ГР 20063986, 2006–2010 гг. (ГНТП «Управление лесами и рациональное лесопользование»).

**Цель и задачи исследования.** Целью работы является повышение степени комплексного освоения лесосечного фонда и эффективности использования систем лесозаготовительных машин путем обеспечения их эксплуатационно-экологической совместимости с почвогрунтами на принципах устойчивого лесопользования.

Достижение поставленной цели потребовало решения следующих задач:

1. Установить показатели воздействия движителей на почвогрунты и их значимость; разработать лесозаготовительную классификацию почвогрунтов на основе почвенно-типологических групп и структурно-логическую схему, связывающую основные параметры и характеристики систем лесозаготовительных машин с состоянием транспортно-технологических элементов лесосек.

2. Разработать метод расчета и оценки напряженно-деформированного состояния транспортно-технологических элементов лесосек, учитывающий вязкоупругие и реологические свойства составляющих их материалов и характеристики машин в реальных условиях эксплуатации.

3. Раскрыть механизм взаимодействия движителей лесных машин с армирующим слоем опорной поверхности движения с определением его вязкоупругих свойств.

4. Экспериментально определить степень влияния технологий рубок и систем машин на лесные почвогрунты и оценить работоспособность армированных транспортно-технологических элементов лесосек.

5. Провести апробацию и внедрение разработанных методов в производственных условиях на основе анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований; разработать практические рекомендации и способы, на-

правленные на повышение степени освоения лесосечного фонда системами машин с учетом принципов устойчивого лесопользования.

**Объект исследования:** системы лесозаготовительных машин и транспортно-технологические элементы лесосек.

**Предмет исследования:** эксплуатационно-экологическая совместимость систем машин с почвогрунтами и пути повышения лесосырьевого потенциала.

**Положения, выносимые на защиту:**

– лесозаготовительная классификация почвогрунтов, учитывающая их эксплуатационные свойства и способы лесопользования, позволяющая проводить предпроектный выбор и анализ технологических процессов и систем машин на почвенно-типологической основе;

– метод расчета и оценки напряженно-деформированного состояния транспортно-технологических элементов лесосек, отличающийся учетом параметров, характеризующих вязкоупругие и реологические свойства почвогрунтов и материалов, используемых для укрепления транспортно-технологических элементов лесосек, и позволяющий проводить оценку влияния на почвогрунты технологий рубок и систем машин и обосновывать их параметры, обеспечивающие реализацию принципов устойчивого лесопользования;

– механизм взаимодействия движителей лесных машин с армирующим слоем опорной поверхности движения и экспериментально установленные их вязкоупругие свойства, позволяющие выбирать предпочтительные параметры укрепляющего слоя в зависимости от применяемых систем машин, способов рубок и природно-производственных условий;

– степень влияния движителей лесозаготовительных машин на уплотнение и деформацию почвогрунтов; характеристики работоспособности армированных транспортно-технологических элементов лесосек, позволившие выполнить оценку эксплуатационно-экологической совместимости систем машин с почвогрунтами;

– комплексная система освоения лесосечного фонда, включающая способы лесозаготовки, устройства временных дорог на слабых грунтах и формирования товарных древостоев, позволяющая актуализировать лесосырьевой потенциал с обеспечением устойчивого лесопользования.

**Личный вклад соискателя.** Диссертация является результатом личной работы автора. Им проведен анализ научной литературы по теме диссертации и обоснована актуальность исследований. Цель и задачи исследований сформулированы совместно с научным руководителем доцентом А. С. Федоренчиком. Автором разработаны лесозаготовительная классификация почвогрунтов, метод оценки напряженно-деформированного состояния транспортно-технологических элементов лесосек, раскрыт механизм взаимодействия движителей лесных машин с армированным слоем опорной поверхности движения. Соискателем разработаны методики и проведены экспериментальные исследования оценки степени влияния

движителей на уплотнение и деформацию лесных почвогрунтов, выполнены обработка и анализ полученных данных. Автор лично участвовал в подготовке публикаций по теме диссертации. Соавторами опубликованных работ являются сотрудники учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (обсуждение результатов исследований).

**Апробация результатов диссертации.** Основные результаты диссертационной работы докладывались на: Международной научно-технической конференции «Леса Беларуси и их рациональное использование» (БГТУ, Минск, 2000 г.); Международной научно-технической конференции «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии в машиностроении» (БНТУ, Минск, 2002 г.); Международной научной конференции молодых ученых «Лес в жизни восточных славян от Киевской Руси до наших дней» (Институт леса НАН Беларуси, Гомель, 2003 г.); Международной научно-технической конференции «Прогрессивные технологии, технологические процессы и оборудование» (МГТУ, Могилев, 2003 г.); Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса» (БелГУТ, Гомель, 2003 г.); Международной научно-технической конференции «Лес-2004» (БГИТА, Брянск, 2004 г.); научно-практическом семинаре «Наука и инновации ВУЗов производству: взаимодействие – эффективность – перспектива» (БГТУ, Минск 2007 г.); III Международном евразийском симпозиуме «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века» (УГЛТУ, Екатеринбург, 2008 г.); Международных научно-технических конференциях «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» (БРУ, Могилев, 2009 г.), научно-технических конференциях БГТУ 2000–2009 гг. и др.

**Опубликованность результатов диссертации.** По результатам исследований опубликовано 37 печатных работ, в том числе 17 научных статей в рецензируемых научных журналах, включенных в перечень ВАК по специальности, объемом 6,7 авторских листа, 6 – в научных сборниках, 11 – в материалах и тезисах научных конференций, 3 – патенты.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, 5 глав, заключения, библиографического списка, включающего список использованных источников из 157 наименований и список публикаций соискателя из 37 наименований, приложений. Работа изложена на 192 страницах печатного текста, включая 73 иллюстрации на 36 страницах, 24 таблицы на 9 страницах, 7 приложений на 16 страницах.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Введение** содержит общую характеристику состояния исследований в рассматриваемой области, обоснование актуальности научной работы и ее значимости для лесного комплекса Республики Беларусь.

**В первой главе** рассмотрены состояние и специфика лесозаготовительного производства Республики Беларусь, особенности освоения лесосечного фонда, проведен обзор и анализ исследований совместимости лесозаготовительных машин с почвогрунтами.

Исследованиями в области рационального освоения лесосечного фонда и совместимости лесных машин с почвогрунтами занимались В.И. Обыденников, В.К. Курьянов, В.М. Котиков, Б.М. Большаков, Э.Ф. Герц, А.П. Матвейко, Е.А. Fitzpatrick, В.Г. Hibberd, J.R. Packham. Вопросы теории движения лесозаготовительных машин исследовали С.Ф. Орлов, Г.М. Анисимов, В.А. Скотников, А.В. Жуков, И.И. Леонович, Н.П. Вырко, Н.И. Библюк и другие.

Ежегодное не освоение расчетной лесосеки на 15–20%, увеличение количества эксплуатируемых отечественных и зарубежных лесозаготовительных машин, разработка новых конструкций движителей и ужесточение лесоводственных требований обуславливают в целях актуализации лесосырьевого потенциала необходимость отыскания и обеспечения условий эффективного функционирования систем машин. Установлено, что рациональное освоение лесосечного фонда на принципах устойчивого лесопользования может быть достигнуто путем обеспечения эксплуатационно-экологической совместимости систем лесных машин с почвогрунтами. На основании анализа научных работ и состояния лесозаготовительного производства сформулированы цель и задачи исследований.

**Во второй главе** на основе анализа эксплуатации машинных лесозаготовительных комплексов установлены показатели воздействия движителей машин на почвогрунты. Проведенные расчеты показали, что наиболее значимыми из них являются: давление машины на грунт, количество циклов нагружения опорной поверхности, ее деформация и степень уплотнения. С целью комплексной оценки эксплуатационно-экологической совместимости систем машин с почвогрунтами на основе выделенных показателей разработана структурно-логическая схема, связывающая основные параметры лесных машин и технологии лесозаготовок с состоянием транспортно-технологических элементов лесосек и последующим лесовосстановлением.

Для условий Республики Беларусь разработана лесозаготовительная классификация лесных почвогрунтов, отличающаяся учетом эксплуатационных показателей типов местности, позволяющая проводить предпроектный выбор и анализ систем машин и технологических процессов лесозаготовок на почвенно-типологической основе. Выделено четыре основных типа местности, каждому из которых соответствуют свои серии типов леса, почвенно-типологические группы, несущая способность грунтов, уровень грунтовых вод, и на этой основе рекомендованы типы движителей применяемых машин и сезоны освоения лесосечного фонда. Характеристика эксплуатационных показателей каждого типа местности приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Эксплуатационные показатели типов местности лесных территорий Беларуси

Тип местности	Уровень грунтовых вод, м	Несущая способность грунта, МПа	Модуль деформации грунта, МПа	Сезон освоения лесфонда	Тип движителя
I	2,5 и >	0,07–0,2	9,0–15,0	на протяжении года	колесный
II	0,5–2,5	0,04–0,07	8,0–10,0	лето, зима, сухая осень	колесный, комбинированный
III	0,5 и >	0,03–0,06	5,0–7,5	лето, зима, сухая осень	комбинированный, гусеничный
IV.I	0–1,0	0,02–0,03	2,0–4,5	сухое лето, зима	гусеничный
IV.II	0–0,5	> 0,02	1,5–2,0	зима	гусеничный

В результате исследований установлено, что применяемые при хлыстовой технологии трелевочные машины с канатно-чокерным оборудованием оказывают многократное (до 40–50 циклов) воздействие на опорную поверхность движения. Число циклов нагружения транспортно-технологических элементов лесосек с использованием системы машин «харвестер – форвардер» на заготовке сортиментов составляет 8–10. При этом общая площадь опорной поверхности движения при хлыстовой технологии в сравнении с сортиментной меньше в 1,5–1,8 раза.

Установленные расчетные значения максимальных давлений движителей лесотранспортных машин МЛ-127, МЛПТ-354 и ТТР-401 соответственно 101 кПа, 102 кПа и 106 кПа позволяют сделать вывод о возможности их эффективной эксплуатации на грунтах I, II и с сезонным ограничением III типов местности, что недостаточно для полного и рационального освоения лесосечного фонда и требует разработки способов актуализации лесосырьевого потенциала.

**Третья глава** посвящена разработке метода расчета и оценки напряженно-деформированного состояния транспортно-технологических элементов лесосек при воздействии на них движителей лесных машин.

Пути перемещения машин по лесосеке рассматриваются как вязкоупругое слоистое полупространство, нагруженное осесимметричной нагрузкой от движителя машины. Напряженно-деформированное состояние почвогрунта изменяется во времени, что является результатом реологических свойств грунта – его ползучести при нагрузке. Исследования, проведенные Н.А. Цытовичем и К.К. Туроверовым, подтверждают положения В.А. Флорина о том, что деформируемость дисперсных грунтов во времени вполне описывается линейной теорией наследственной ползучести Больцмана – Вольтерра, согласно которой связь между напряжениями и деформациями записывается уравнением



$$\varepsilon(t) = \frac{1}{E} \left[ \sigma(t) + \int_0^t K(t-\tau) \sigma(\tau) d\tau \right], \quad (1)$$

где  $\varepsilon(t)$  – относительная деформация;  $E$  – модуль упругости, МПа;  $\sigma$  – напряжение, МПа;  $K(t-\tau)$  – ядро ползучести или ядро интегрального уравнения, представляющего функцию влияния напряжений  $\sigma(\tau)$  в момент времени  $\tau$  на деформацию в момент времени  $t$ ,  $1/c$ ;  $t$  – время наблюдения, с;  $\tau$  – время, предшествующее моменту наблюдения, с.

Задача определения напряжений и перемещений, возникающих в грунтовом полупространстве от сосредоточенной силы, является осесимметричной, ее решение производим в цилиндрической системе координат (рисунок 1) через функцию напряжений  $\varphi = \varphi(r, z)$ .

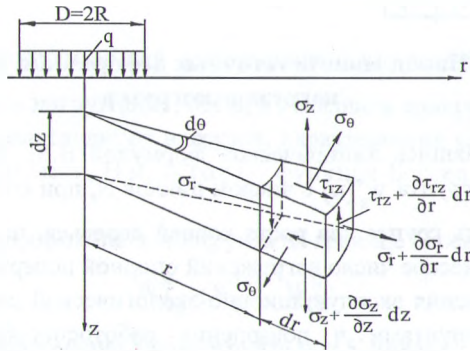


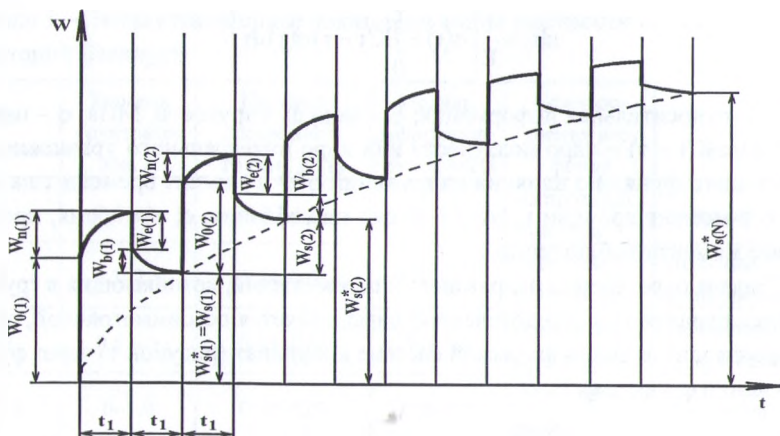
Рисунок 1 – Схема напряжений в цилиндрической системе координат

Так как при движении лесотранспортной машины по волоку нагрузка-разгрузка периодически повторяется, то при  $N$  циклах суммарное остаточное вертикальное перемещение  $w_s^*(N)$  определяется по формуле

$$w_s^*(N) = \frac{q(1-\mu^2)}{\pi} J \sum_{i=1}^N \left[ \frac{1}{E_{0(i)}} \left( 1 + \frac{\delta_{0(i)}}{\beta_{0(i)}} \left( 1 - e^{-\beta_{0(i)} t_1} \right) \right) - \frac{1}{E_i} \left( 1 + \frac{\delta_i}{\beta_i} \left( 1 - e^{-\beta_i t_1} \right) \right) \right], \quad (2)$$

где  $q$  – интенсивность сплошной нагрузки от давления движителя, МПа;  $\mu$  – коэффициент Пуассона грунта;  $J$  – интеграл, зависящий от геометрической формы площади, по которой распределена нагрузка, м;  $E_{0(i)}$ ,  $E_i$  – соответственно модуль общей деформации и модуль упругости при  $i$ -м цикле, МПа;  $\delta_{0(i)}$ ,  $\beta_{0(i)}$  – параметры, характеризующие общую деформацию ползучести при  $i$ -м цикле,  $1/c$ ;  $\delta_i$ ,  $\beta_i$  – параметры, характеризующие вязкоупругую деформацию при  $i$ -м цикле,  $1/c$ .

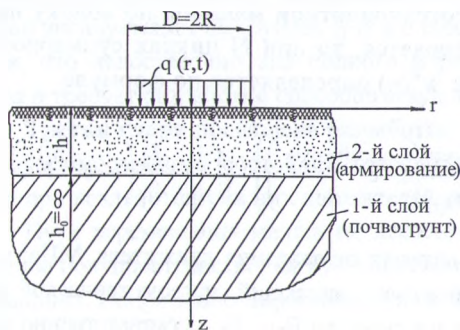
Характер накопления остаточных вертикальных перемещений при нескольких циклах повторения нагрузки-разгрузки показан на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Накопление остаточных деформаций при N циклах нагрузки-разгрузки**

Воспользовавшись эмпирической формулой В.М. Котикова, связывающей осадку почвогрунта  $W_s^*(N)$  с числом циклов  $N$ , при котором наступает критическая плотность грунта для роста корней деревьев, по формуле (2) можно определить критическое число нагружений опорной поверхности движения.

Для обеспечения эксплуатационно-экологической совместимости систем машин с почвогрунтами и повышения работоспособности транспортно-технологических элементов лесосек целесообразно осуществлять их армирование укрепляющим слоем. В этом случае такой элемент представляет собой



**Рисунок 3 – Расчетная схема двухслойной конструкции транспортно-технологических элементов**

конструкцию, воспринимающую давление от движителя машины как нагрузку, действующую на двухслойное полупространство (рисунок 3), слой которого обладают свойствами ползучести, то есть способностью деформироваться во времени, что также описывается линейной теорией наследственной ползучести Больцмана – Вольтерра.

Деформация границы слоев при нагружении армированных транспортно-технологических элементов составит

$$W_2^{(N)} = W_1^{(N)} = -\frac{1 + \mu_1}{E_0^{(N)} h^2} \left[ \int_0^\infty (A(t) + 2B(t)(1 - \mu_1)) e^{-\alpha} \alpha^2 J_0(\alpha \rho) d\alpha + \right. \\ \left. + \int_0^\infty \int_0^\infty (A(t) + 2B(t)(1 - \mu_1)) e^{-\alpha} \alpha^2 J_0(\alpha \rho) \delta_0^{(N)} e^{-\beta_0^{(N)} \tau} d\alpha d\tau \right] \quad (3)$$

Деформация верхней границы почвогрунта при разгрузке при N-ом цикле

$$W_{1(e)}^{(N)} = -\frac{1 + \mu_1}{E_1^{(N)} h^2} \left[ \int_0^\infty (A(t) + 2B(t)(1 - \mu_1)) e^{-\alpha} \alpha^2 J_0(\alpha \rho) d\alpha + \right. \\ \left. + \int_0^\infty \int_0^\infty (A(t) + 2B(t)(1 - \mu_1)) e^{-\alpha} \alpha^2 J_0(\alpha \rho) \delta_1^{(N)} e^{-\beta_1^{(N)} \tau} d\alpha d\tau \right] \quad (4)$$

где  $E_0^{(N)}$  и  $E_1^{(N)}$  – модули общей деформации и упругости грунта при соответствующем цикле нагружения, МПа;  $h$  – толщина армирующего слоя, м;  $A(t)$  и  $B(t)$  – функции, зависящие от нагрузки, характеристик слоев, параметра интегрирования  $\alpha$  и времени, Н·м;  $J_0(\alpha \rho)$  – функция Бесселя первого рода нулевого порядка.

Остаточная деформация почвогрунта на границе слоев при N-м цикле

$$W_{1(s)}^N = W_1^{(N)} - W_{1(e)}^N \quad (5)$$

Суммарная деформация в почвогрунте при K циклах

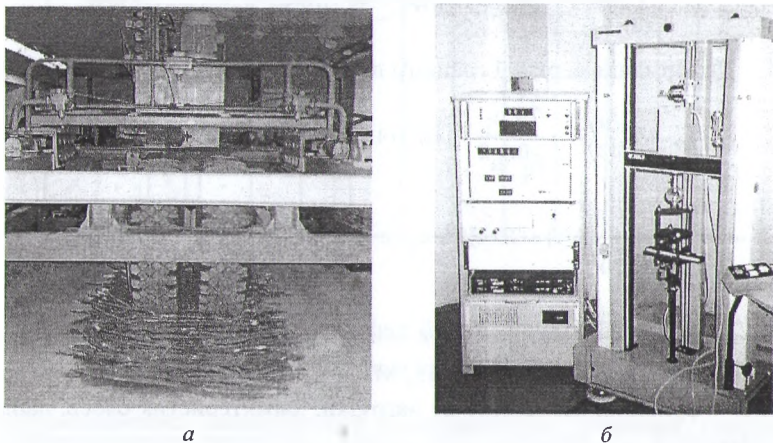
$$W_{S(K)} = \sum_{N=1}^K W_{1(s)}^{(N)} = \sum_{N=1}^K (W_1^{(N)} - W_{1(e)}^{(N)}) \quad (6)$$

Разработанный метод оценки напряженно-деформированного состояния транспортно-технологических элементов лесосек позволил раскрыть механизм взаимодействия движителей лесных машин с армирующим слоем. Установлено, что армирующий слой опорной поверхности движения в отличие от почвогрунта при нагружении и разгрузке описывается одними и теми же характеристиками модуля упругости  $E_2$  и вязкоупругих констант  $\delta_2$ ,  $\beta_2$ , которые при этом не зависят от числа циклов нагружения.

Учет типа и размеров движителя, компоновочных параметров и веса машины, скорости ее движения, количества циклов нагружения позволяет с использованием разработанного метода производить комплексную оценку эксплуатационно-экологической совместимости систем лесных машин с почвогрунтами.

**В четвертой главе** с целью определения степени влияния технологий рубок и систем машин на лесные почвогрунты и оценки работоспособности армированных транспортно-технологических элементов лесосек разработаны мето-

дики натуральных и стендовых экспериментов и приведены результаты исследований. Исследования проводились в производственных условиях ОАО «Молодечнолес», ГЛХУ «Телеханский лесхоз», ГЛХУ «Старобинский лесхоз», а также в лабораторных условиях на экспериментальных установках (рисунок 4).



*а* – грунтовый канал с автоматизированной тележкой; *б* – разрывная машина ИР-5046-5

#### **Рисунок 4 – Экспериментальные установки**

В качестве инструментов использовались режущее кольцо, нивелир, рейка с линейкой, тензорезисторные преобразователи давления с гидравлическим мультипликатором (мессдоза). Для записи напряжений, регистрируемых мессдозами, использовалась измерительная аппаратура в составе восьмиканального многофункционального измерительного усилителя Spider 8 и персонального компьютера. Для регистрации и обработки данных, получаемых с измерительного прибора, применялся пакет программного обеспечения Catman express 3.12.

Перед закладкой датчиков давления на экспериментальный участок предварительно проводилась их градуировка гидростатическим способом. Для определения вертикальных напряжений, возникающих в почвогрунте, закладывались пять мессдоз в характерных точках, которые обусловлены по ширине – размерами движителя, по глубине – количеством слоев грунтового массива (мессдоза устанавливалась на границе слоев). Показания датчиков регистрировались с частотой 5 измерений в секунду.

Во время испытаний регистрируемыми параметрами являлись: деформация и плотность почвогрунта, его модули упругости и деформации, несущая способность; степень минерализации почвы; вертикальные напряжения в различных зонах грунтового массива. Учетно-измерительные работы в производственных условиях проводились в процессе разработки лесосеки и после полного завершения комплекса лесосечных работ. Состав и методика учетно-

измерительных работ устанавливались в зависимости от способа и вида рубок, при этом в точности определения показателей допускалась ошибка не более 5%.

При лабораторных испытаниях армирующих материалов лесотранспортных путей использовалась разрывная машина ИР-5046-5, оснащенная дополнительными преобразователями силы и перемещения, а также блоком коммутации, управляемым ПЭВМ.

Для градуировки преобразователя силы использовался образцовый динамометр сжатия ДОСМ-10, а для градуировки преобразователя перемещения – индикатор часового типа ИГЧ. Градуировки производились в диапазоне 0–2500 Н и 1–10 мм соответственно. Измерения осуществлялись по 20 точкам диапазона с записью 50 значений выходного напряжения и их статистической обработкой. В качестве аппроксимирующих уравнений преобразования использовались полиномы второй степени. Коэффициент корреляции для обоих преобразователей составил 0,999.

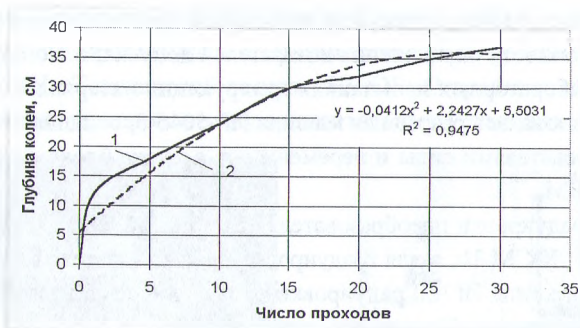
В процессе исследований определена степень влияния движителей специализированных лесозаготовительных машин на почвогрунты. Установлено, что на грунтах III типа местности (грунты со слабой несущей способностью, суглинистые и глинистые) после 10 проходов колесных лесотранспортных машин МЛ-127, Валмет-862, МТЗ-82+ПТН-30 и МПТ-461 средняя деформация почвогрунтов составила соответственно 24 см, 30,6, 18 и 9,3 см (таблица 2), причем в некоторых случаях наблюдалась частичная или полная потеря работоспособности трелевочных волоков. Зависимость деформации почвы от числа проходов трелевочной машины МЛ-127 приведена на рисунке 5.

Таблица 2 – Оценка лесотранспортных машин по степени деформации почвы

Марка машины	Деформация почвы, см		
	1 рейс	5 рейсов	10 рейсов
МЛ-127	12,0	18,0	24,0
Валмет-862	8,0	16,9	30,6
МТЗ-82+ПТН-30	4,0	12,0	18,0
МПТ-461	3,9	7,1	9,3

После 5 проходов машины МЛ-127 почва в среднем уплотняется до  $1,34 \text{ г/см}^3$  при ее начальной плотности  $0,89\text{--}1,19 \text{ г/см}^3$ , а после 10 – до  $1,88 \text{ г/см}^3$ , то есть достигает порогового значения для лесовосстановления. Наибольшие значения плотности почвы зарегистрированы на погрузочных площадках и лесовозной дороге соответственно  $2,2 \text{ г/см}^3$  и  $2,6 \text{ г/см}^3$  и равны практически наибольшей плотности упаковки частиц (суглинки  $2,71 \text{ г/см}^3$ ).

После 10 проходов форвардера Валмет-862 на дерново-подзолистых заболоченных грунтах плотность почвы на пасечном волокне увеличилась почти в 2 раза и составила  $1,72 \text{ г/см}^3$ , а на магистральном волокне – в среднем  $1,87 \text{ г/см}^3$ .



1 – экспериментальная кривая; 2 – аппроксимирующая кривая

**Рисунок 5 – Зависимость деформации почвогрунтов от числа проходов трелевочной машины МЛ-127**

В процессе исследований работоспособности армированных трелевочных волоков установлено, что максимальные значения напряжений в почвогрунте при толщине армирующего слоя из сучьев 15 см не превышали 0,23 МПа, тогда как при такой же нагрузке без укрепления экспериментального участка они составляли 0,31 МПа, или на 26% больше. На суглинках с влажностью верхнего слоя около 25% использование армирующего слоя толщиной 15 см позволяет снизить степень деформации почвогрунтов в среднем на 20% при количестве циклов нагружения до 10. При дальнейшем нагружении опорной поверхности движения наблюдается разрушение укрепляющего покрытия и снижение его работоспособности. При начальной плотности почвы 1,27 г/см<sup>3</sup> исследуемое устройство покрытия с указанной толщиной слоя в среднем в 2 раза увеличивает возможное число проходов до наступления критической плотности почвы (1,8 г/см<sup>3</sup>), при которой возникают препятствия для лесовозобновления большинства древесных пород.

В результате лабораторных испытаний армирующих материалов определены их мгновенный и длительный модули упругости, что позволило установить вязкоупругие характеристики древесных материалов, используемых для укрепления лесотранспортных путей.

**В пятой главе** с учетом полученных результатов теоретических и экспериментальных исследований разработана комплексная система освоения лесосечного фонда, включающая способы лесозаготовки, устройства временных дорог на слабых грунтах и формирования товарных древостоев, позволяющая актуализировать лесосырьевой потенциал с обеспечением устойчивого лесопользования.

Формировать товарные древостои предложено в комплексе «рубка – лесовосстановление» с устройством постоянно действующих технологических

коридоров, учитывая различную устойчивость древесных пород к изменениям лесной среды от антропогенного воздействия. Разработанный способ устройства временной дороги на слабых грунтах армированием поверхности движения настилом из фашин, сформированным с использованием продольных полос гибкого материала, позволяет повысить распределяющую способность лесотранспортного пути на 25–30% и обеспечить эксплуатационно-экологическую совместимость лесозаготовительных машин с почвогрунтами.

На основании теоретических и экспериментальных исследований, с учетом действующих нормативных документов разработаны лесоводственно-экологические показатели и установлены их допустимые значения для системы лесной сертификации Республики Беларусь, которые позволяют оценивать степень воздействия технологий рубок и систем лесозаготовительных машин на почвогрунты.

Суммарная площадь транспортно-технологических элементов не должна превышать 25% от общей площади лесосеки на сплошных рубках без сохранения подроста с последующим созданием лесных культур и 20% на постепенных, выборочных и сплошных рубках с оставлением вырубki под естественное зарастивание. Ширина пасечных и магистральных волоков должна составлять 4–5 м при трелевке хлыстами и не более 4 м при трелевке сортиментами. Рекомендованы следующие основные ограничения воздействия машин и технологий рубок на лесные грунты: – глубина колеи свыше 0,2 м должна быть не более 10% протяженности пасечного и 20% магистрального волоков; – суммарная площадь повреждений почвы 2 и 3 степени на технологических элементах при выборочных постепенных и сплошных рубках соответственно – до 15, 20, 40%; – повреждения 2 и 3 степени на пасеках не допускаются; – повреждения 1 степени при выборочных, постепенных и сплошных рубках с последующим созданием лесных культур соответственно – до 5, 7, 10%. Учитывая различную степень воздействия на почвогрунты лесозаготовительных машин в зависимости от сезона года, типа грунта и движителя допустимые значения давления движителей дифференцированы в пределах от 30 до 180 кПа.

Установлена максимальная толщина армирующего слоя из остатков древесного сырья, которая в зависимости от способа заготовки и характеристик лесосеки составляет 0,15–0,30 м.

Экономическая эффективность перспективных для условий Беларуси систем машин определялась с учетом их совместимости с лесной средой, которая выражается экологическим ущербом, наносимым машиной (системой машин) при разработке лесосеки. Данный вид ущерба по комплексу «рубка – восстановление леса» от применения на трелевке древесины колесных машин составил для ТТР-401 – 7,36 тыс. руб./м<sup>3</sup>, МЛ-127 – 6,79, МЛПТ-354 – 6,46 и МЛ-131 – 6,48 тыс. руб./м<sup>3</sup>.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. На основе анализа работы систем лесных машин в условиях освоения лесосечного фонда установлена необходимость повышения их эксплуатационно-экологической совместимости с почвогрунтами с целью актуализации лесосырьевого потенциала [18-А, 25-А, 33-А]. Определены показатели воздействия лесных машин на почвогрунты и уровень их значимости [7-А, 8-А, 10-А, 24-А], с учетом которых разработана лесоэксплуатационная классификация почвогрунтов, позволяющая проводить предпроектный выбор и анализ технологических процессов и систем машин на почвенно-типологической основе [8-А].

2. Разработан метод расчета и оценки напряженно-деформированного состояния транспортно-технологических элементов лесосек, позволяющий анализировать процессы деформации и уплотнения почвогрунтов при многократных нагрузках с учетом вязкоупругих свойств почвогрунтов и армирующего слоя, физико-механических характеристик грунтов, типа и размеров движителя, веса машины и скорости ее движения [1-А, 4-А, 5-А, 6-А, 13-А].

3. Раскрыт механизм и установлена закономерность взаимодействия движителей лесных машин с армирующим слоем опорной поверхности движения, которые показывают, что армирующий слой в отличие от почвогрунта описывается одними и теми же характеристиками модуля упругости  $E_2$  и вязкоупругих констант  $\delta_2$ ,  $\beta_2$  при нагружении и разгрузке, которые не зависят от числа циклов нагружения [13-А]. Экспериментально определены вязкоупругие свойства армирующего слоя, позволяющие, используя разработанный метод расчета напряженно-деформированного состояния транспортно-технологических элементов лесосек, выбирать предпочтительные параметры укрепляющего слоя в зависимости от применяемых систем машин, способов рубок и природно-производственных условий [9-А, 21-А].

4. Полученные при проведении теоретических и экспериментальных исследований по разработанным методикам [3-А, 11-А, 31-А] результаты, отражающие эксплуатационно-экологическую совместимость систем лесных машин с почвогрунтами, позволили установить, что:

– эксплуатация систем лесных машин на почвогрунтах II и III типов местности приводит к значительному их разрушению, степень которого зависит от количества проходов по волоку, конструкции машины и природно-климатических условий [17-А, 24-А, 28-А, 29-А, 34-А]. Установленное число проходов лесотранспортных машин по волоку, которое при трелевке сортиментов составляет 8–10, при трелевке хлыстов – 40–50, превышает допустимое по параметру пороговой плотности почвогрунта [12-А, 18-А, 19-А];



– трелевочные машины МЛ-127, МЛПТ-354 и ТТР-401 имеют максимальные давления соответственно 101 кПа, 102 кПа и 106 кПа и могут использоваться на грунтах I, II и с некоторыми ограничениями III типов местности [2-А]. После разработки лесосеки с использованием на трелевке колесных лесотранспортных машин плотность почвы достигает  $1,7\text{--}1,8\text{ г/см}^3$ , что практически соответствует пороговому значению для возобновления большинства древесных пород [8-А, 12-А];

– осваивать лесосырьевой потенциал необходимо с обязательным учетом комплекса «рубка – лесовосстановление» [14-А, 16-А], ввиду того что восстановление почвы после вырубki происходит за длительный период. Так, на участке леса, где рубка производилась 5–6 лет назад, модуль деформации почвы на пачечном волокне составил 6,2 МПа, а на лесовозном усу – 10,85 МПа, что соответственно в 3,9 и 6,8 раза больше, чем на контрольном участке (1,6 МПа) [10-А].

5. Установленные характеристики работоспособности армированных транспортно-технологических элементов лесосек показали, что обоснованное их укрепление позволяет обеспечить эксплуатационно-экологическую совместимость систем машин с почвогрунтами [20-А, 26-А, 27-А, 30-А]. При влажности суглинистых почв 25% использование армирующего слоя толщиной 15 см позволяет уменьшить деформацию почвогрунтов в среднем на 20%, напряжения в них – на 26%, а также в два раза увеличить возможное число проходов до критической плотности почвы ( $1,8\text{ г/см}^3$ ), при которой возникают препятствия для лесовозобновления [15-А, 32-А].

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

Результаты исследований использованы при разработке СТБ 1342-2002 «Устойчивое лесопользование и лесопользование. Машины для рубок леса. Общие технические требования» и СТБ 1360-2002 «Устойчивое лесопользование и лесопользование. Рубки главного пользования. Требования к технологиям», а также внедрены в учебный процесс, что подтверждается актами и справкой о внедрении. Полученные результаты прошли апробацию и внедрены в ГЛХУ «Телеханский лесхоз», что позволило освоить труднодоступный лесосечный фонд при снижении удельных затрат на трелевку древесины на 12% с фактическим годовым экономическим эффектом 6,5 млн. рублей в ценах 2005 г.

Результаты проведенных исследований и разработанные на их основе лесоводственно-экологические требования позволяют прогнозировать сохранность среды и проходимость лесных машин и выбирать рациональные технологии освоения лесосек.

Разработанные рекомендации позволяют на 15–20% увеличить освоение лесосечного фонда имеющимися на предприятиях системами машин путем обосно-

ванного армирования транспортно-технологических элементов лесосек при различных технологических схемах разработки лесосеки, снизить на 10–15% затраты на восстановление лесной среды после вырубki для последующего лесовосстановления [22-А, 23-А].

Разработанные и запатентованные способы лесозаготовок, формирования товарных древостоев в системе «рубка – лесовосстановление», а также способ устройства временных дорог на слабых грунтах позволяют в соответствии с принципами устойчивого лесопользования осуществлять более полное освоение лесосечного фонда с соблюдением лесоводственно-экологических требований, способствуют продуктивному формированию и росту нового поколения леса [35-А, 36-А, 37-А].

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

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

1-А. Федоренчик, А.С. Деформация лесных почв под воздействием колесных и гусеничных движителей / А.С. Федоренчик, С.С. Макаревич, Н.П. Вырко, П.А. Протас // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2000. – Вып. VIII. – С. 88–96.

2-А. Протас, П.А. Давление движителей трелевочных машин МТЗ на почвогрунты / П.А. Протас, А.С. Федоренчик // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2001. – Вып. IX. – С. 18–23.

3-А. Федоренчик, А.С. Методика экспериментальной оценки влияния лесных машин и технологий на почвогрунты / А.С. Федоренчик, П.А. Протас // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2001. – Вып. IX. – С. 14–18.

4-А. Федоренчик, А.С. Аналитическое исследование колееобразования на трелевочных волоках, укрепленных отходами лесозаготовок / А.С. Федоренчик, С.С. Макаревич, П.А. Протас // Изв. вузов. Лесной журнал. – 2002. – № 1. – С. 80–89.

5-А. Федоренчик, А.С. Расчет лесных транспортных путей с учетом вязкоупругих свойств материалов / А.С. Федоренчик, С.С. Макаревич, Н.П. Вырко, П.А. Протас // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2002. – Вып. X. – С. 6–13.

6-А. Федоренчик, А.С. Определение глубины колеи на трелевочных волоках, укрепленных отходами лесозаготовок / А.С. Федоренчик, С.С. Макаревич, П.А. Протас // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2002. – Вып. X. – С. 52–56.

7-А. Федоренчик, А.С. Нормирование техногенных нагрузок на лесные экосистемы при проведении лесозаготовок в Республике Беларусь / А.С. Федоренчик, П.А. Протас // Актуальные проблемы лесного комплекса: Труды / Брянская гос. инж.-техн. акад. – Брянск, 2002. – Вып. 6. – С. 24–27.

8-А. Федоренчик, А.С. Деградация лесных почв при проведении лесозаготовок / А.С. Федоренчик, П.А. Протас // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития: Труды / Брянская гос. инж.-техн. акад. – Брянск, 2003. – Вып. 6. – С. 47–51.

9-А. Федоренчик, А.С. Определение механических свойств отходов лесозаготовок / А.С. Федоренчик, А.В. Дорожко, П.А. Протас // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2003. – Вып. XI. – С. 70–75.

10-А. Протас, П.А. Оценка влияния лесозаготовительных машин на лесные почвогрунты / П.А. Протас // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2003. – Вып. XI. – С. 99–103.

11-А. Федоренчик, А.С. Методика проведения исследований воздействия колесных движителей на почвогрунты в лабораторных условиях / А.С. Федоренчик, П.А. Протас, А.В. Дорожко // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2004. – Вып. XII. – С. 57–60.

12-А. Протас, П.А. Результаты лабораторных исследований воздействия колеса на лесной почвогрунт / П.А. Протас, С.А. Севрук, Г.С. Корин // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2004. – Вып. XII. – С. 66–69.

13-А. Федоренчик, А.С. Деформация грунтов на технологических элементах лесосеки, укрепленных отходами лесозаготовок / А.С. Федоренчик, С.С. Макаревич, П.А. Протас // Изв. вузов. Лесной журнал. – 2004. – № 4. – С. 33–39.

14-А. Федоренчик, А.С. Повреждение корней деревьев движителями лесозаготовительных машин при проведении несплошных рубок леса / А.С. Федоренчик, П.А. Протас // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2005. – Вып. XIII. – С. 26–27.

15-А. Протас, П.А. Работоспособность трелевочных волоков на грунтах повышенного увлажнения / П.А. Протас, Г.И. Завойских // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2005. – Вып. XIII. – С. 28–30.

16-А. Корзун, И.И. Оценка эколого-экономической эффективности колесных погрузочно-транспортных машин / И.И. Корзун, П.А. Протас, А.И. Хотянович // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2006. – Вып. XIV. – С. 144–147.

17-А. Федоренчик, А.С. Машинный способ заготовки древесины и характеристики параметров древостоев / А.С. Федоренчик, П.А. Протас, А.И. Хотянович // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2007. – Вып. XV. – С. 25–29.

#### Статьи в научных сборниках

18-А. Протас, П.А. Лесное машиностроение в контексте экологических требований / П.А. Протас, А.Н. Бычек // Машиностроение: сб. научн. трудов / Технопринт. – Минск, 2002. – Вып. 18. – С. 331–336.

1360 17ap

**БІБЛІЯТЭКА**  
Беларускага дзяржаўнага  
тэхналагічнага ўніверсітэта

19-А. Протас, П.А. Экспериментальные исследования влияния на почвогрунты колесных лесозаготовительных машин / П.А. Протас // Лес в жизни восточных славян от Киевской Руси до наших дней: сб. научных трудов ИЛ НАНБ / ИЛ НАН Беларуси. – Гомель, 2003. – Вып. 57. – С. 125–126.

20-А. Насковец, М.Т. Результаты лабораторных исследований распределяющей способности дорожных конструкций, применяемых в лесных массивах / М.Т. Насковец, С.А. Севрук, П.А. Протас // Актуальные проблемы лесного комплекса: труды / Брянская гос. инж.-техн. акад. – Брянск, 2004. – Вып. 8. – С. 191–193.

21-А. Федоренчик, А.С. Вязкоупругие свойства отходов лесозаготовок, используемых для укрепления трелевочных волоков / А.С. Федоренчик, П.А. Протас, А.В. Дорошко // Актуальные проблемы лесного комплекса: труды / Брянская гос. инж.-техн. акад. – Брянск, 2004. – Вып. 8. – С. 210–212.

22-А. Федоренчик, А.С. Повышение эффективности эксплуатации системы машин «харвестер – форвардер» / А.С. Федоренчик, П.А. Протас, А.И. Хотянович // Наука и инновации ВУЗов производству: взаимодействие – эффективность – перспектива: сборник статей, материалов и тезисов науч.-практ. семинара, Минск, 22–23 мая 2007 г. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: В.М. Анищик [и др.]. – Минск, 2008. С. 78–80.

23-А. Федоренчик, А.С. Комплексное использование отходов лесозаготовительного производства в Республике Беларусь / А.С. Федоренчик, П.А. Протас // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. Труды III международного евразийского симпозиума / Под научной ред. В.Г. Новоселова – Екатеринбург, 2008. – С. 136–140.

### **Материалы научных конференций и тезисы докладов**

24-А. Федоренчик, А.С. Показатели воздействия движителей лесных колесных машин на почву / А.С. Федоренчик, А.В. Жуков, С.П. Мохов, В.Н. Лой, П.А. Протас // Леса Беларуси и их рациональное использование: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 29–30 ноября 2000 г. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: О.А. Атрощенко [и др.]. – Минск, 2000. – С. 370– 72.

25-А. Протас, П.А. Влияние демпфирующих характеристик почвогрунтов на проходимость колесной трелевочной машины МЛ-126 / П.А. Протас, В.Н. Лой // Леса Беларуси и их рациональное использование: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 29–30 ноября 2000 г. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: О.А. Атрощенко [и др.]. – Минск, 2000. – С. 394–397.

26-А. Федоренчик, А.С. Применение отходов лесозаготовок при обустройстве трелевочных волоков / А.С. Федоренчик, П.А. Протас // Новые технологии рециклинга вторичных ресурсов: материалы Междунар. науч.-технич.

конф., Минск, 24–26 октября 2001 г. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: И.М. Жарский [и др.]. – Минск, 2001. – С. 244–246.

27-А. Протас, П.А. Эксплуатация временных лесных путей и повышение проходимости лесотранспортных машин в Республике Беларусь / П.А. Протас // Актуальные проблемы развития транспортных систем и строительного комплекса: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 2001 г. / Белорус. гос. ун-т транспорта; редкол.: В.И. Сенько [и др.]. – Гомель, 2001. – С. 249–250.

28-А. Протас, П.А. Проектирование и эксплуатация лесотранспортных машин с лесоводственной точки зрения / П.А. Протас // Создание и применение высокоэффективных наукоемких ресурсосберегающих технологий, машин и комплексов: материалы Междунар. науч.-технич. конф., Могилев, 25–26 октября 2001 г. / Могилевский гос. техн. ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2001. – С. 252–253.

29-А. Федоренчик, А.С. Взаимодействие движителей колесных трелевочных машин с волоком / А.С. Федоренчик, П.А. Протас, А.Н. Бычек // Современные технологии, материалы, машины и оборудование: материалы Междунар. науч.-технич. конф., Могилев, 16–17 мая 2002 г. / Могилевский гос. техн. ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2002. – С. 357–358.

30-А. Протас, П.А. Использование отходов лесозаготовок для укрепления волоков – элемент ресурсосберегающей технологии / П.А. Протас, Г.И. Завойских, С.С. Макаревич, А.С. Федоренчик // Леса Европейского региона – устойчивое управление и развитие: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 4–6 декабря 2002 г. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: О.А. Атрощенко [и др.]. – Минск, 2002. Ч. 2. – С. 252–255.

31-А. Дорожко, А.В. Методика лабораторных исследований вязкоупругих свойств порубочных остатков / А.В. Дорожко, А.С. Федоренчик, П.А. Протас // Леса Европейского региона – устойчивое управление и развитие: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 4–6 декабря 2002 г. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: О.А. Атрощенко [и др.]. – Минск, 2002. Ч. 2. – С. 255–257.

32-А. Протас, П.А. Проходимость колесных трелевочных машин и пути ее повышения / П.А. Протас, В.В. Хайновский // Прогрессивные технологии, технологические процессы и оборудование: материалы Междунар. науч.-технич. конф., Могилев, 15–16 мая 2003 г. / Могилевский гос. техн. ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2003. – С. 473–475.

33-А. Протас, П.А. Экологическая совместимость лесотранспортных машин с лесными почвогрунтами / П.А. Протас // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса: тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 2003 г. / Бел. гос. ун-т транспорта; редкол.: В.И. Сенько [и др.]. – Гомель, 2003. Ч. 2. – С. 197–198.

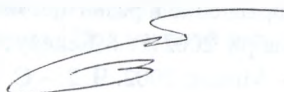
34-А. Протас, П.А. Особенности взаимодействия системы машин «харвестер – форвардер» с опорной поверхностью движения / П.А. Протас, А.С. Федоренчик // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 16–17 апреля 2009 г. / Белорусско-Российский ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]– Могилев, 2009. Ч. 2. – С. 189–190.

### Патенты

35-А. Способ лесозаготовки: пат. 6079 Респ. Беларусь, МПК А 01 G 23/00 / А.С. Федоренчик, Г.И. Завойских, П.А. Протас, Р.Н. Герман; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № а 20000309; заявл. 31.03.2000; опубл. 30.03.2004 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2004. – № 1. – С. 88.

36-А. Способ устройства временной дороги на слабых грунтах: пат. 9162 Респ. Беларусь, МПК Е 01 С 9/08 / М.Т. Насковец, П.А. Лыщик, А.С. Федоренчик, П.А. Протас, Л.Ч. Станкевич; – № а 20040533; заявл. 09.06.2004; опубл. 30.04.2007 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 2. – С. 100.

37-А. Способ формирования ленточного товарного древостоя: пат. 12824 Респ. Беларусь, МПК А 01 G 23/00 / Г.И. Завойских, Н.К. Крук, А.С. Федоренчик, П.А. Протас, А.И. Хотянович; – № а 20071075; заявл. 30.08.2007; опубл. 28.02.2010 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 1. – С. 50.



## РЭЗІЮМЭ Протас Павел Аляксандравіч

**Актуалізацыя лесасыравіннага патэнцыялу забеспячэннем эксплуатацыйна-экалагічнай сумяшчальнасці сістэм машын з глебагрунтам на прынцыпах устойлівага лесакарыстання**

**Ключавыя словы:** сістэма машын, глебагрунт, эксплуатацыйна-экалагічная сумяшчальнасць, лесасыравінны патэнцыял, метады разліку, напружана-дэфармаваны стан, устойлівае лесакарыстанне.

**Мэта работы:** павышэнне ступені комплекснага асваення лесасечнага фонду і эфектыўнасці выкарыстання сістэм лесанарыхтоўчых машын шляхам забеспячэння іх эксплуатацыйна-экалагічнай сумяшчальнасці з глебагрунтам на прынцыпах устойлівага лесакарыстання.

**Метады даследаванняў і апаратура:** для правядзення эксперыментаў, рэгістрацыі і апрацоўкі дадзеных выкарыстоўваліся лабараторны стэнд з аўтаматызаванай самаходнай цялежкай, разрыўная машына ИР-5046-5 з вымяральной апаратурай, узмацняльнік Spider-8, пераўтваральнік ціску. Выкарыстоўваліся метады тэорыі нашчаднай паўзучасці Больцмана – Вальтэра, камп'ютарнага мадэлявання.

**Навуковая навізна атрыманых вынікаў:** распрацаваны метады разліку і ацэнкі напружана-дэфармаванага стану армаваных транспартна-тэхналагічных элементаў лесасек, які адрозніваецца ўлікам вязкапругкіх і рэалагічных ўласцівасцей глебагрунта і матэрыялаў армавання. Упершыню ўстаноўлены механізм узаемадзеяння рухачоў лясных машын з армуючым слоём апорнай паверхні руху і вызначаны яго вязкапругкія ўласцівасці, якія дазваляюць выбіраць пераважныя параметры ўзмацняльнага слоя. Устаноўлены характарыстыкі працаздольнасці армаваных транспартна-тэхналагічных элементаў лесасек, якія дазваляюць выконваць ацэнку эксплуатацыйна-экалагічнай сумяшчальнасці з глебагрунтам. Распрацаваны і запатэнтаваны спосабы лесанарыхтовак, уладкавання часовых дарог на слабым грунце і фармавання таварных дрэвастояў, якія дазваляюць у комплексе актуалізаваць лесасыравінны патэнцыял з улікам прынцыпаў устойлівага лесакарыстання.

**Ступень выкарыстання:** вынікі даследаванняў выкарыстаны пры распрацоўцы нарматыўных дакументаў і прайшлі апрабаванне ў ДЛГУ «Целяханскі лягас», што дазволілі асвоіць цяжкадаступны лесасечны фонд і знізіць удзельныя выдаткі на трывяанне на 12%.

**Вобласць выкарыстання:** вынікі працы могуць быць выкарыстаны пры практаванні тэхналогіі шасечкі і сістэм машын, якія забеспячаюць эксплуатацыйна-экалагічную сумяшчальнасць з глебагрунтам і рацыянальнае выкарыстанне лесасыравіннага патэнцыялу.

## РЕЗЮМЕ

Протас Павел Александрович

### Актуализация лесосырьевого потенциала обеспечением эксплуатационно-экологической совместимости систем машин с почвогрунтами на принципах устойчивого лесопользования

**Ключевые слова:** система машин, почвогрунт, эксплуатационно-экологическая совместимость, лесосырьевой потенциал, методы расчета, напряженно-деформированное состояние, устойчивое лесопользование.

**Цель работы:** повышение степени комплексного освоения лесосечного фонда и эффективности использования систем лесозаготовительных машин путем обеспечения их эксплуатационно-экологической совместимости с почвогрунтами на принципах устойчивого лесопользования.

**Методы исследования и аппаратура:** для проведения экспериментов, регистрации и обработки данных использовались лабораторный стенд с автоматизированной самоходной тележкой, разрывная машина ИР-5046-5 с измерительной аппаратурой, усилитель Spider-8, преобразователи давления. Применялись методы теории наследственной ползучести Больцмана – Вольтерра, компьютерного моделирования.

**Научная новизна полученных результатов:** разработан метод расчета и оценки напряженно-деформированного состояния армированных транспортно-технологических элементов лесосек, отличающийся учетом вязкоупругих и реологических свойств почвогрунтов и материалов армирования. Впервые установлен механизм взаимодействия движителей лесных машин с армирующим слоем опорной поверхности движения и определены его вязкоупругие свойства, позволяющие выбирать предпочтительные параметры укрепляющего слоя. Установлены характеристики работоспособности армированных транспортно-технологических элементов лесосек, позволившие выполнить оценку эксплуатационно-экологической совместимости систем машин с почвогрунтами. Разработаны и запатентованы способы лесозаготовки, устройства временных дорог на слабых грунтах и формирования товарных древостоев, в комплексе позволяющие актуализировать лесосырьевой потенциал с учетом принципов устойчивого лесопользования.

**Степень использования:** результаты исследований использованы при разработке нормативных документов и прошли апробацию в ГЛХУ «Телеханский лесхоз», что позволило освоить труднодоступный лесосечный фонд и снизить удельные затраты на трелевку на 12%.

**Область применения:** результаты работы могут быть использованы при проектировании технологий рубок и систем машин, обеспечивающих эксплуатационно-экологическую совместимость с почвогрунтами и рациональное использование лесосырьевого потенциала.



## SUMMARY

Protas Pavel Aleksandrovich

### **Actualization of forest raw material potential by means of operational and ecological compatibility of machine systems with soils based on sustainable forest exploitation**

**Keywords:** machine systems, soils, operational and ecological compatibility, forest raw material potential, calculation methods, strained state the status, sustainable forest exploitation.

**Project goal:** improvement of cutting area complex development and efficiency of logging machinery systems by means of operational and ecological compatibility of machine systems with soils based on sustainable forest exploitation.

**Research methods and facilities:** for experimentation, data logging and data processing, the following facilities were used: laboratory bench with automated self-propelled car, tension testing machine ИР-5046-5 with measuring devices, amplifier Spider-8, dynamometers. Queuing analysis of hereditary creep of Boltsman – Volterr in computer-aided engineering was used.

**Scientific novelty of the results obtained:** calculation and estimation method has been developed to evaluate the strained state of reinforced transport and technological cutting area elements. This method being different in considering factors characterizing viscoelastic and rheological properties of soils and reinforcing materials. Interaction mechanism between forest machinery movers and bearing area movement is determined. Its viscoelastic properties permitting to choose the preferable parameters of strengthening layer are detected. Performance characteristics of reinforced transport and technological cutting area elements are identified. This allowed estimating operational and ecological compatibility of machine systems with soils. Techniques of logging, trail roads arrangement on soft grounds and forming of marketable forest stands are developed and patented. These techniques allow actualizing forest raw material potential considering the principles of sustainable forest exploitation.

**Efficiency:** research results have been used in the development of normative documents and have been tested at state forestry enterprise «Telehanski Leshos». All these made possible to develop hard-to-reach cutting area and reduce skidding expenses by 12%.

**Application domain:** the results obtained can be used in designing of felling technologies and machine systems providing operational and ecological compatibility with soils and ensuring rational utilization of forest raw material potential.

Научное издание

**Протас Павел Александрович**

**АКТУАЛИЗАЦИЯ ЛЕСОСЫРЬЕВОГО ПОТЕНЦИАЛА  
ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ  
СОВМЕСТИМОСТИ СИСТЕМ МАШИН С ПОЧВОГРУНТАМИ  
НА ПРИНЦИПАХ УСТОЙЧИВОГО ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ**

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

Ответственный за выпуск П.А. Протас

Подписано в печать 27.05.2010. Формат 60×84 1/16.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 1,5. Уч.-изд. л. 1,6.  
Тираж 60 экз. Заказ 236

Отпечатано в Центре издательско-полиграфических  
и информационных технологий учреждения образования  
«Белорусский государственный технологический университет».  
220006. Минск, Свердлова, 13а.  
ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.  
ЛП № 02330/0150477 от 16.01.2009.