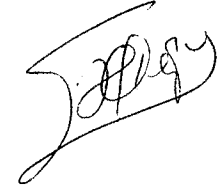


На правах рукописи

Герц Эдуард Федорович



ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ РУБОК
С СОХРАНЕНИЕМ ЛЕСНОЙ СРЕДЫ
(НА ПРИМЕРЕ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА)

05.24.01 — Технологии и машины лесопиловочного и лесного хозяйства
06.03.03 — Лесоведение и лесоводство; лесные пожары и борьба с ними

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Екатеринбург — 2004

Работа выполнена на кафедре технологии и оборудования лесопромышленного производства Уральского государственного лесотехнического университета.

Научные консультанты:

Доктор технических наук, профессор Ширнин Юрий Александрович
Доктор сельскохозяйственных наук, профессор Залесов Сергей
Вениаминович.

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор Редькин Анатолий Константинович
Доктор технических наук, профессор Ковалев Рудольф Николаевич.
Доктор сельскохозяйственных наук, профессор Хайретдинов Альфат
Фазлутдинович

Ведущая организация: Санкт-Петербургская лесотехническая академия

Защита состоится 23 декабря 2004 года в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.281.02 при Уральском государственном лесотехническом университете, ауд. 1-401

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Уральского государственного лесотехнического университета

Автореферат разослан «9» ноября 2004 года

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.т.н., доцент

Куцубина Н.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В современных условиях в обществе коренным образом меняется отношение общественности и государственных структур к ведению лесного хозяйства и лесозаготовок. Приоритетным требованием становится обеспечение бережного отношения к лесу, не только как источнику возобновимых сырьевых ресурсов, но и источнику чистого воздуха и воды, месту проведения досуга. В результате возникает необходимость более строгого отбора технологических процессов лесопользования на основе их широкой комплексной оценки, учитывающей не только возможность эффективного использования всех ресурсов леса, но и интересы будущих поколений.

Лесозаготовительный процесс определяется видом и способом рубки, машинами и оборудованием, используемыми для реализации рубки, технологией рубки.

Растущее многообразие машин и механизмов, применяемых для реализации систем рубок главного и промежуточного пользования, позволяет реализовать на практике все большее количество технологических процессов рубок, как при рубках главного пользования, так и при рубках ухода. Причем, наряду с четырьмя известными типами технологических процессов лесосечных работ при вывозке деревьев, хлыстов, сортиментов и измельченной древесины, добавился - пятый предусматривающий вывозку пиломатериалов. Возросшее число операций, составляющих технологические процессы лесосечных работ, а также машин и оборудования для их реализации, возможная последовательность и место выполнения операций ставят задачу разработки теоретического обоснования технологий рубок с сохранением лесной среды. Технологические процессы рубок промежуточного и главного пользования, ориентированные на вывозку лесоматериалов высокой степени переработки (сортименты и пиломатериалы), оказывают особое воздействие на лесную экосистему и при несоответствии способу рубок или лесорастительным условиям могут вызывать отрицательные явления в результате повреждения элементов леса. При проведении рубок ухода возможно снижение лесоводственного результата, а при рубках главного пользования – ухудшение качества выращиваемой древесины, снижение приростов (неплошные рубки), увеличение сроков лесовосстановления, ухудшение породного состава в результате уничтожения подроста и повреждения почвы (сплошные рубки).

Поэтому формирование системы лесопользования должно быть обосновано современными методами исследования операций, технологических процессов и способов рубок, изучением и обобщением опыта эксплуатации машин и оборудования, с учетом возможного повреждения элементов леса. При этом необходимо учитывать специфику и современное состоя-

ние лесного фонда Уральского региона, обусловленное длительной его эксплуатацией, а также высокой антропогенной нагрузкой.

Учитывая роль и значение технологических процессов рубки леса в системе природопользования, повышение эффективности лесозаготовок с обоснованием рациональных технологий лесопользования с учетом лесорастительных условий является актуальным.

Цель исследования. Основной целью исследования является теоретическое обоснование технологий рубок главного и промежуточного пользования, с сохранением лесной среды в условиях Уральского региона, которые позволят повысить эффективность рубок.

Объектом исследования являются рубки леса главного и промежуточного пользования и в частности система «технология лесосечных работ лесная среда».

Предметом исследования являются производственные, социальные и экологические параметры системы лесосечных работ, риски повреждения элементов леса в процессе рубок.

Методы исследования. Теория вероятности, теория нечетких множеств, системный анализ, элементы риск – анализа, математическое и имитационное моделирование, эксперименты на имитационных моделях, регрессионный анализ, оптимизация, а также натурные экспериментальные исследования (пассивные эксперименты) с выполнением фотохронометражных наблюдений.

Научная новизна работы.

Выполнено обоснование способов:

- рубки в защитных насаждениях, обеспечивающие обновление насаждений при сохранении ими защитных функций и эффективную прижизненную эксплуатацию;
- рубки переформирования березовых насаждений в елово-пихтовые в условиях целевого ведения лесного хозяйства на производство фанерного кряжа;

Разработаны математические модели

- беспрепятственной валки дерева бензиномоторной пилой и прогнозирования повреждения деревьев при несплошных рубках с целью обеспечения сохранения оставшейся части древостоя и других элементов леса;
- прогнозирования повреждения компонентов насаждения в процессе перемещения лесоматериалов на волок;

прогнозирование повреждения оставшихся деревьев при несплошных рубках машинно-тракторной ЛЗМ

Разработаны математические модели и алгоритм непрямолинейного перемещения машины при сплошных рубках, обеспечивающие разработку ленты максимальной ширины

Разработаны методики

– расчета ширины ленты, разрабатываемой ЛЗМ с учетом досягаемости и доступности деревьев, отведенных в рубку;

– расчета параметров ленты, разрабатываемой ВСРМ, при несплошных рубках с максимальным сохранением оставляемых деревьев от повреждений;

- расчета толщины хворостяного настила трелевочного волока, обеспечивающего уменьшение степени деформации проезжей части волока до заданного уровня;

Обоснована система ограничений при выборе технологических процессов рубок для Уральского региона на зонально-типологической основе, с целью минимизации до приемлемого уровня возможных повреждений компонентов леса.

Обобщены подходы к оценке технологических процессов лесозаготовок на основе системного анализа. Предложена методика выбора технологического процесса с использованием экологических, социальных и экономических критериев.

Основные научные положения и результаты исследования, выносимые на защиту.

1. Принцип выбора технологических процессов рубок для Уральского региона по экологическим, социальным и экономическим критериям, на зонально-типологической основе с использованием критериев допустимости и предпочтительности.
2. Способ разработки лесосеки при несплошных рубках в защитных насаждениях, обеспечивающий обновление насаждений, сохранение ими защитных функций и эффективную прижизненную эксплуатацию;
3. Способ рубки переформирования березовых насаждений в елово-пихтовые в условиях целевого ведения лесного хозяйства на производство фанерного кряжа;
4. Математическая модель беспрепятственной валки дерева бензиномоторной пилой и прогнозирования повреждения деревьев при несплошных рубках, обеспечивающая сохранение оставшейся части древостоя;
5. Математическая модель прогнозирования повреждения компонентов насаждения при перемещении лесоматериалов на волок;
6. Методика обоснования и параметры ленты, разрабатываемой валочно-сучкорезно-раскряжевой машиной при несплошных рубках, с максимальным сохранением оставляемых деревьев от повреждений;
7. Способ раз рубки фланговой ЛЗМ первой ленты леса, а также математическая модель и алгоритм непрямолинейного перемещения машины при сплошных рубках, обеспечивающие разработку ленты максимальной ширины;
8. Методика расчета толщины хворостяного настила трелевочного волока, обеспечивающего уменьшение степени деформации проезжей части волока до заданного уровня.

Практическая значимость работы. Результаты исследования позволяют:

- осуществлять выбор технологических процессов лесозаготовок для конкретных условий по социальным, экологическим и экономическим критериям;
- прогнозировать вероятность повреждения оставляемых на доращивание деревьев и сохранность подроста при реализации заданной технологии рубок;
- осуществлять выбор оборудования и необходимую квалификацию исполнителей для выборочной валки деревьев с заданными технологическими параметрами;
- снизить степень повреждения элементов древостоя при несплошных рубках и процессе перемещения лесоматериалов на волок выбором оборудования, реализующего различные способы захвата и перемещения лесоматериалов;
- осуществлять подбор лесосечного фонда для фланговых узкозахватных ЛЗМ в целях их эффективной эксплуатации;
- на этапе проектирования ЛЗМ оптимизировать вылет манипуляторов для работы в конкретных природопроизводственных условиях.

Реализация результатов работы. Результаты исследований использованы при подготовке следующих нормативных документов:

- Временные рекомендации по рубкам главного и промежуточного пользования в лесах Урала с применением многооперационных колесных машин и сортиментной технологии (для опытно производственной проверки);
- Рекомендации по рубкам главного и промежуточного пользования в лесах Урала и Западной Сибири с заготовкой сортиментов многооперационными машинами (для опытно-производственной проверки);
- Рекомендации по рубкам главного и промежуточного пользования (в развитие и дополнение действующих наставлений).

Нормативные документы и результаты диссертационной работы, реализованные в них, были внедрены в ряде предприятий Уральского региона и в том числе в ЗАО «Фанком»

Результаты работы внедрены в учебный процесс путем издания учебного пособия и методических рекомендаций по дисциплинам «Технология лесосечных работ» и «Экологические проблемы и лесопромышленное производство», а также при выполнении курсовых и дипломных проектов по специальности «Лесопользование и лесозащита»

Апробация. Основные положения и результаты исследований были доложены и обсуждены на

ежегодных научных конференциях профессорско-преподавательского состава, докторантов, аспирантов и сотрудников Уральского государственного

лесотехнического университета (УЛТИ, УГЛТА, УГЛТУ) в 1988-2003 гг.;

- ежегодных научных конференциях профессорско-преподавательского состава, докторантов, аспирантов и сотрудников Марийского государственного технического университета в 2002-2003 гг.
- международной научно-технической конференции «Леса Европейского региона – устойчивое управление и развитие» в 2002 г. (г. Минск);
- IV Межрегиональной выставке – ярмарке «Лесной комплекс» в 2002 г. (Екатеринбург)
- заседании секции УМО по специальности 2601 в сентябре 2003г.

(Москва, МГУЛ)

Публикации. Основное содержание работы и результаты выполненных исследований опубликованы в монографии, 2 учебных пособиях, 2 авторских свидетельствах, 3 брошюрах и 30 научных статьях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, основных выводов и заключения, списка использованных источников литературы и трех приложений. Содержание работы изложено на 270 страницах машинописного текста, иллюстрировано 61 рисунком и 52 таблицами. Список литературы включает 176 наименований. Приложения содержат 39 стр., 2 авторских свидетельства, 3 справки о внедрении, 13 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы ее цели, научная новизна, выносимые на защиту положения, научная и практическая значимость.

В первой главе выполнен анализ работ, посвященных изучению структуры и особенностей технологических процессов лесосечных работ.

Основными факторами, определяющими выбор технологических процессов лесосечных работ, типов машин и механизмов, являются таксационные и лесотипологические характеристики лесосечного фонда. Исследования процесса лесосечных работ отечественными учеными на разных этапах определяли направления конструктивного совершенствования машин и оборудования, в том числе оптимизацию их параметров. Используемые при этом критерии отражали уровень механизации работ в отрасли и обществе, а также уровень социальных отношений и экологических взглядов на лесопользование. В настоящее время большинство вариантов технологических схем разработки лесосек основывается на применении систем машин. Вопросами взаимодействия машин в системе, оптимизации параметров машин, составляющих систему, обоснования характеристик систем машин посвящены работы ряда крупных советских и российских исследо-

вателей Кочегарова В.Г., Орлова С.Ф., Меньшикова В.Н., Редькина А.К., Мазуркина П.М., Ширнина Ю.А. и др. Однако при этом в качестве критериев оптимизации использовались, в основном, экономические и технологические показатели.

Вопросы классификации технологических процессов лесосечных работ рассматривались многими авторами. Наиболее крупные исследования, в этой области, определившие дальнейшее направление исследований выполнены Кочегаровым В.Г., Орловым С.Ф. Подход к анализу технологических процессов лесосечных работ как сложной системе с иерархической структурой использован в работах Виногорова Г.К., Меньшикова В.Н., Кушляева В.Ф., Ширнина Ю.А. и др. Вместе с тем, при этом недостаточно учтен способ выполнения отдельных операций лесосечных работ и возможных повреждениях лесной среды связанных с местом их выполнения.

Вопросам формирования лесосечных систем машин для работы в различных условиях и обоснования их параметров посвящены работы Немцова В.П., Прохорова В.Б., Вороницина К.И., Аболя П.И., Меньшикова В.Н., Кусакина Н.Ф., Проворотова Ю.И., Гладкова Е.Г. и др.

Для оценки функционирования систем лесозаготовительного производства применяются различные критерии эффективности. Захариков В.М. предлагает использовать три группы критериев: социальные, экономические и технологические. Кушляев В.Ф. в качестве критериев оценки технологий лесосечных работ и лесосечных машин предлагает различные показатели лесоводственной оценки, в основу которой была изначально положена территориальная связь между лесным хозяйством и лесозаготовками. Петров А.П. предлагает все мероприятия в области лесопользования и воспроизводства лесов рассматривать как определенный компромисс в достижении социальных, экологических и экономических целей и оценивать их соответственно по трем группам критериев – социальным, экологическим и экономическим. Однако не предложен механизм принятия решения при выборе в этих условиях.

Влияние лесорастительных условий на технологические процессы лесосечных работ и выбор системы машин определяется возможностью их реализации с минимальными повреждениями элементов леса в процессе рубок. Широкие исследования по влиянию лесосечных машин на лесную среду проводились в нашей стране Виногоровым Г.К., Ягудиным Ю.Н., Обыденниковым В.П., Гусевым Г.М., Силуновым Ю.Д., Сюневым В.С., Баранцевым А.С., Кистерией П.П. и Федуповым В.С. и др. За рубежом этими вопросами занимались Wastlund I., Lohm S., Athanassiadis D., Moskalik T., Sadowski J., Eber J. и ряд других. Вместе с тем нет аналитических моделей оценки рисков повреждения элементов древостоя при несплошных рубках.

Анализ этих работ показывает, что в условиях возрастания значимости рекреационных и эстетических функций леса при одновременной ин-

тенсификации лесного хозяйства для повышения эффективности лесосечных работ необходимо решать следующие задачи:

1. Обоснование параметров рубок в насаждениях, имеющих высокое прижизненное значение на основе анализа состояния лесного фонда Уральского региона;

2. Обоснование системы лесного хозяйства и лесопользования в условиях ведения целевого хозяйства, ориентированного на получение сортиментов, имеющих спрос в регионе;

3. Анализ технологий лесосечных работ с целью выявления природо-производственных факторов, влияющих на сохранность элементов леса при проведении рубок главного и промежуточного пользования;

4. Анализ причинно-следственных связей возникновения ущерба при проведении рубок главного и промежуточного пользования;

5. Разработка аналитических моделей оценки вероятности беспрепятственной валки дерева и прогнозирование повреждения деревьев и других элементов леса при несплошных рубках главного и промежуточного пользования;

6. Сравнение способов захвата и перемещения лесоматериалов при их трелевке по критерию вероятности повреждения компонентов формируемого насаждения;

7. Обоснование параметров ленты разрабатываемой манипуляторной ЛЗМ при несплошных рубках с учетом сохранности компонентов формируемого древостоя;

8. Исследование работы валочно-сучкорезно-раскряжевых машин (ВСРМ) и выявление элементов технологического процесса, оказывающих наибольшее влияние на сохранность элементов леса;

9. Обоснование вылета манипулятора лесозаготовительных машин (ЛЗМ) в различных природопроизводственных условиях при выполнении рубок главного пользования и рубок ухода, в том числе при несплошных рубках с учетом повреждения деревьев, оставляемых на дорастивание;

10. Исследование возможности работы малых ЛЗМ под пологом насаждения при выполнении несплошных рубок главного и промежуточного пользования;

11. Обоснование технологических параметров работы фланговой ЛЗМ с целью увеличения ее эффективности;

12. Обосновать конструкцию и методику расчета хворостяного настила трелевочного волока с целью обеспечения уменьшения степени деформации проезжей части волока до заданного уровня;

13. Разработать систему оценки, ранжирования и отбора технологий лесосечных работ для условий Уральского региона на лесотипологической основе.

Вторая глава посвящена анализу рисков нанесения ущерба в результате выполнения несплошных рубок главного и промежуточного пользо-

вания. Рассмотрена последовательность отбора технологического процесса рубок по экологическим, социальным и экономическим критериям, а также предложены способы рубок и технологические процессы рубок, обеспечивающие минимизацию ущерба в природопроизводственных условиях, характерных для Урала.

Выбор технологического процесса лесосечных работ осуществляется на основе критериев, по которым можно современными методами оценить сложную систему. Эти критерии отражают противоречивые стремления - получить как можно больше качественной продукции с наименьшими затратами для производителя и рисками для общества. В качестве рисков для общества здесь рассматриваются в первую очередь возможные социальные и экологические последствия.

Отклонение от параметров управления, обеспечивающих устойчивое состояние системы, может привести к возникновению аварий, техногенных или природных катастроф и связанным с этим ущербом (социальным, экологическим, экономическим). Такие возможные результаты управления называют риском. Количественная мера риска может быть интерпретирована как математическое ожидание величины ущерба. При этом, очевидно, что ущерб возможен не только в случае катастроф, но и при отклонении параметров функционирования системы от оптимальных. Причем степень отклонения параметров функционирования системы будет характеризовать величину ущерба, определяемого как количество неполученных социальных, экологических и экономических эффектов. Выбор стратегии эффективности управления обеспечивается:

- установлением нижнего (допустимого) и верхнего (желаемого) уровней безопасности с учетом экологических, социальных и экономических факторов;
- последовательное снижение уровней риска.

С учетом изложенного, выбор технологического процесса лесосечных работ и параметров его функционирования осуществляется поэтапным отбором по каждой из трех групп критериев эффективности.

Каждая из групп критериев, используемых при отборе технологии лесосечных работ, включает в себя ограничения, определяющие допустимость технологии на данном этапе развития общества и критерии ее предпочтительности. Последовательность отбора и ранжирования технологий лесосечных работ по экологическим и социальным критериям приведена соответственно на рисунках 1 и 2.

После ранжирования технологий по социальным и экологическим группам критериев производится принятие окончательного решения, при котором из числа допустимых на основе экономических критериев выбирается та, которая наилучшим образом соответствует природо-производственным условиям выполнения работ. Выбор при этом осуществляется с учетом минимизации выходов из групп критериев (рисунок 3).

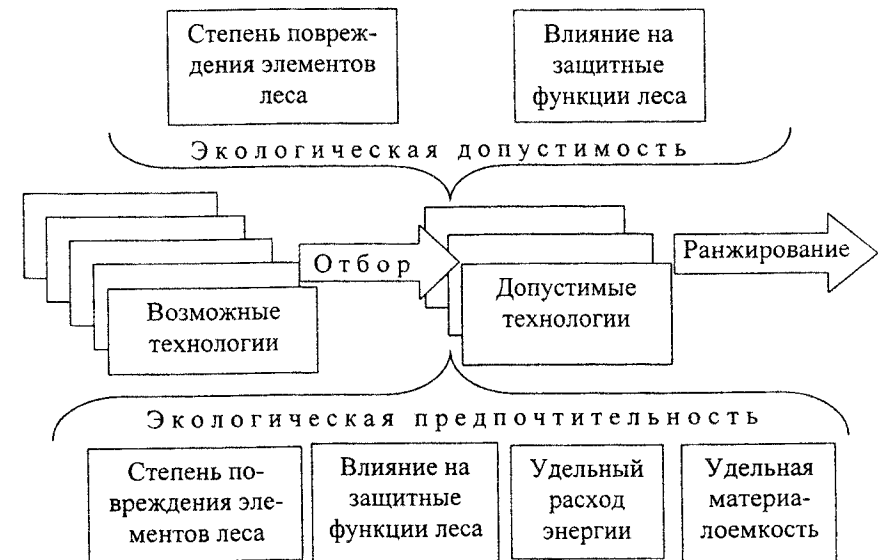


Рисунок 1 - Отбор и ранжирование технологий лесосечных работ по экологическим критериям

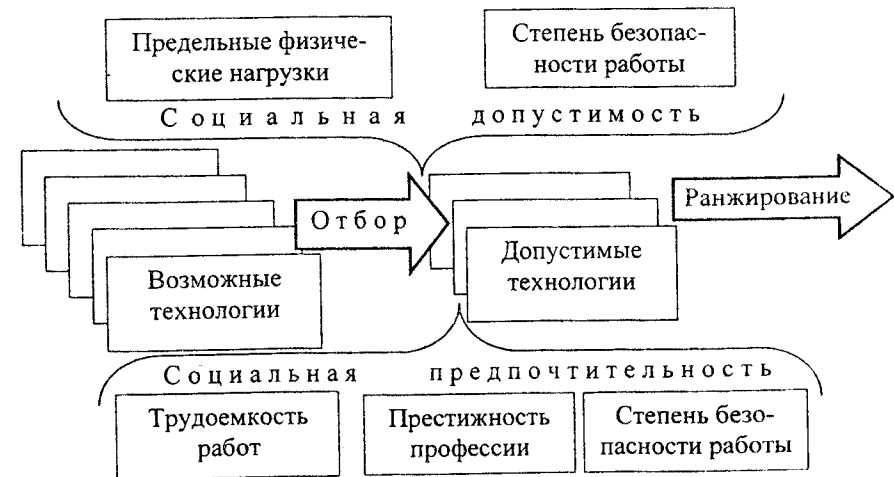


Рисунок 2 - Отбор и ранжирование технологий лесосечных работ по социальным критериям

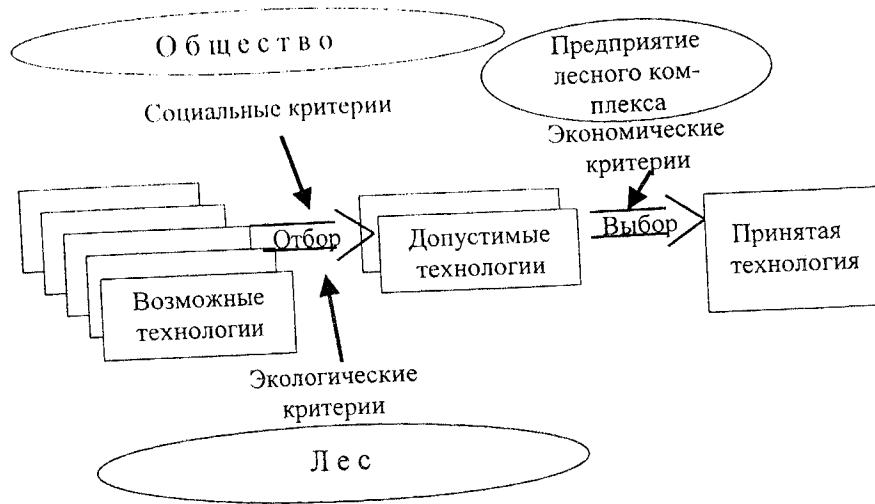


Рисунок 3 - Принципиальная схема последовательности отбора технологии проведения лесосечных работ

Приведена характеристика лесорастительных условий Уральского региона, включая климат, рельеф, почвенно-гидрологические характеристики. Выполнен анализ состояния и динамика породного состава, возрастной структуры насаждений. Указаны основные причины негативных трендов, к которым следует отнести шаблонное использование способов и технологий рубок (сплошных) и неадекватное хозяйственное воздействие на вырубку.

Лесозаготовки в целом характеризуются как неравномерные с перерубом расчетной лесосеки по хвойному хозяйству, особенно в хозяйственно освоенных районах и недоиспользованием лиственной древесины, при общем использовании расчетной лесосеки на 75%.

Значительным резервом интенсификации лесопользования в регионе являются рубки промежуточного пользования, позволяющие значительно увеличить объем древесины с единицы лесных площадей и увеличить крупность и качество древесины в момент рубки сплошного пользования. Кроме того рубки ухода являются средством перевода насаждений с преобладанием лиственных пород в хвойные насаждения за один или два приема рубок.

Текущие приросты древесины, имеющие тенденцию к повышению вследствие омоложения лесов, особенно в лесонедефицитных районах в то же время также потенциальная возможность в среднем по Уральскому региону на 2-4%, а в некоторых лесоразносных районах достигает 40%.

В лесопользовании во второй половине 20 века наблюдался систематический переруб расчетной лесосеки по хвойному хозяйству. В настоящее время в лесах II и III групп пользование по хвойному хозяйству производится в пределах расчетной лесосеки. В I же группе лесов расчетная лесосека по хвойному хозяйству в 1983 г. была недоиспользована на 1,6 млн. м³, систематически недоиспользуются и расчетные лесосеки по лиственным хозяйствам. В целом, за счет слабого вовлечения в рубку лиственных древостоев общее освоение расчетной лесосеки в регионе составило не более 75%, по лесам III группы — 73%, что свидетельствует о расточительном характере лесопользования. Ежегодно до конца 80-х сплошные рубки на Урале проводились на 250—270 тыс. га ежегодно, причем более половины из них — концентрированными лесосеками. Несплошные способы рубок — выборочные и постепенные — и в настоящее время почти не находят применения, даже в малолесных районах.

Таким образом, эффективное лесопользование и воспроизводство лесных ресурсов на расширенной основе возможно только за счет резкого повышения его интенсивности на основе технологических процессов, наилучшим образом, соответствующим условиям места произрастания и уровню научно-технического прогресса.

На основе анализа возрастной структуры приспевающих, спелых и перестойных березовых древостоев предложен вариант несплошных рубок с назначением деревьев в рубку по отпускному диаметру, что сократит трудозатраты на отвод лесосек и увеличит приросты тонкомерных деревьев оставленных на доращивание. Кроме того, проведение несплошных рубок по верховому методу, с оставлением при первых приемах рубки имеющейся в составе насаждений примеси хвойных пород в качестве обсеменителей, способствует формированию подроста хвойных пород сопутствующей генерации.

При проведении рубок в насаждениях, прижизненная эксплуатация которых имеет важное хозяйственное значение, например кедровые насаждения, целесообразно использовать широкие пасеки (а.с. №1821091). Пасеки разбивают на четыре ленты шириной 20-30 метров, а трелевочные волоки поочередно с интервалом одного класса возраста разрубают на лентах, причем вначале на одной из средних лент, затем крайней несмежной с ней ленте, в последующем — на второй средней ленте и в заключительный прием — на второй крайней ленте.

Характеристики насаждения оказывают неоднозначное влияние на возможность и предпочтительность использования, как отдельных машин, так и систем машин и технологий их работы. При этом влияние характеристик насаждения на выбор параметров технологического процесса может выражаться в виде экологических, социальных или экономических критериев или ограничений. Рельеф и условия увлажнения ограничивают возможность применения самоходных ЛЗМ, используемые двигатели и массу

машин. На ограничение этих параметров может оказывать влияние породный состав насаждения, функции леса (хозяйственная группа) и время года, в которое выполняются рубки.

Показатели, характеризующие запас древесины, крупномерность стволов могут накладывать ограничения на применение машин (в виде требования возможности выполнения работ) и выступать в качестве факторов, определяющих их эффективность.

Наличие или отсутствие подроста хозяйственно ценных пород при выполнении рубок главного пользования также накладывает существенные ограничения на выбор оборудования и технологий, исключая применение узкозахватных машин, узкопасечных технологий и технологий, предусматривающих перемещение волоком длинномерных лесоматериалов.

Все рассмотренные аспекты влияния характеристик насаждения на экологические критерии сводятся, таким образом, к ограничению:

- повреждений почвы, подстилающей материнской породы и живого напочвенного покрова при перемещении лесоматериалов и машин, величина которых определяется типом движителя и массой ЛЗМ, числом ее проходов по волоку, способу перемещения лесоматериалов;
- повреждений деревьев, оставляемых на доразивание, и подроста, величина и риски, возникновения которых определяются густотой формируемого насаждения и густотой подроста, способом перемещения лесоматериалов и их длиной, а также местом выполнения технологических операций;
- ограничение степени изреживания, в том числе путем сокращения густоты сети трелевочных волоков. Причем, сокращение густоты сети трелевочных волоков позволяет достигнуть относительного снижения повреждения почвы за счет сокращения площади повреждений.

Таким образом, при выборе оборудования и технологии рубок по экологическим критериям при заданном способе рубок наиболее значимыми характеристиками насаждения являются:

- характеристика грунтов, определяющая их повреждаемость (возможность пластической деформации и уплотнения);
- характеристика живого напочвенного покрова и допустимость или целесообразность его повреждения;
- породный состав и густота формируемого насаждения и имеющегося подроста.

Допустимость технологии определяется:

- типом движителя ЛЗМ;
- максимальным числом проходов трелевочного трактора по пасечному волоку;
- проходимостью и повреждаемостью почво-грунтов (необходимостью укрепления волока порубочными остатками);
- способом изреживания;

- шириной пасеки;
 - видом (длиной) трелеваемых лесоматериалов и способом их захвата.
- Первичные повреждения элементов леса приводят к вторичным повреждениям или ущербу, который не является прямым их следствием, однако в определенной степени обуславливается ими. Первичные механические повреждения деревьев, оставляемых на доразивание, приводят впоследствии к биологическим травмам. При определенной величине и расположении механических повреждений, защитные функции дерева, его система питания могут быть серьезно нарушены и приведут к снижению текущих приростов и устойчивости против внешних неблагоприятных воздействий.

Принципиальная схема возникновения ущерба в результате нанесения механических повреждений древостою при выполнении рубок приведена на рисунке 4.



Рисунок 4 - Принципиальная схема возникновения ущерба в процессе рубок

Третья глава посвящена исследованиям вероятности первичного повреждения деревьев при несплошной рубке механизированной системой машин. Представлены модели беспрепятственного выполнения операций валки и перемещения лесоматериалов (хлыстов и их частей), а также вы-

полнена оценка рисков повреждения деревьев, оставляемых на дорастивание.

Первичному механическому повреждению при выполнении несплошных рубок подвержены все элементы леса. Причиной является механическое воздействие лесосечных машин и заготавливаемой древесины: деревьев, хлыстов и сортиментов в процессе валки и трелевки. Почва под воздействием движителей ЛЗМ и перемещаемых волоком лесоматериалов уплотняется и перемешивается с нижележащими горизонтами. Такие элементы леса как живой напочвенный покров, кустарники и подрост уничтожаются полностью или частично на площадях, подвергшихся воздействию перемещающихся масс. Деревья, оставляемые на дорастивание, могут повреждаться в различной степени (ошмыг, облом, обдир, сдавливание), причем повреждаться могут все элементы дерева: ствол, крона и корневая система.

Повреждения кроны дерева, оставляемого на дорастивание, происходит в процессе соударения с кроной вырубаемого дерева в момент его падения. Вероятность наличия свободной площадки для валки дерева в заданном направлении в насаждении со случайным размещением деревьев определяется по закону распределения Пуассона. Уменьшение размеров требуемой площадки приводит к увеличению вероятности ее наличия, но приведет соответственно к пересечению кроны деревьев, оставляемых на дорастивание, и вырубаемого дерева. Степень пересечения кроны деревьев, определяющая риски повреждения дерева, оставляемого на дорастивание, может варьироваться от полного, т. е. лобового соударения деревьев стволами, до касательного. Частичное пересечение кроны, вырубаемых и оставляемых на дорастивание деревьев, не имеющее своим последствием ошмыг кроны стоящего дерева может, в соответствии с принятым определением, рассматриваться как беспрепятственная валка. С учетом этого, определение беспрепятственной валки дерева, как валка в просвет между стоящими деревьями, не может считаться полной, поскольку частичное, в известной мере, пересечение кроны вырубаемых и оставляемых на дорастивание деревьев в процессе валки не приводит к видимым последствиям. Из этого можно сделать вывод об отсутствии четкой границы понятия «беспрепятственная валка дерева», т.е. его следует отнести к разряду нечетких множеств, используя в дальнейшем введенное Л. Заде понятие возможности.

Значение параметра «расстояние между деревьями», ограничивающими просвет для валки, не может быть меньше двух минимальных диаметров кроны ($O_d O_{np} \geq 2d_{мин}^{кр}$) поскольку в этом случае не будет обеспечена возможность беспрепятственной валки даже деревьев с кроной минимального диаметра. Большее значение диаметров кроны, вырубаемого и ограничивающих просвет деревьев, приводит к частичному их пересечению (рисунки 5а), которое достигает максимального значения при максимальных диаметрах кроны. Решение по определению расстояния между деревьями,

ограничивающими просвет для валки, может быть принято по заданному условию валки, с учетом допустимой степени пересечения кроны. В качестве условий валки может рассматриваться возможность валки дерева в просвет без зависания на кронах деревьев, ограничивающих просвет, или ограничение степени ошмыга кроны дерева, ограничивающего просвет для валки.

Определение $d_{крит}^{кр}$ может быть выполнено с учетом выделенных Кувшиновым А.В. (1988) участков по длине ветвей и представление кроны в виде трех вложенных друг в друга зон.

Внешняя зона характеризуется «сверхгибкостью» ветвей и поэтому при ее пересечении зависание падающего дерева или ошмыг кроны оставляемого дерева, как правило, не происходит.

Взаимодействие на крону в средней зоне может привести к облому ветвей, однако это не приводит к значимой реакции дерева.

Пересечение внутренней зоны кроны дерева приводит к наиболее вероятному излому ветвей.

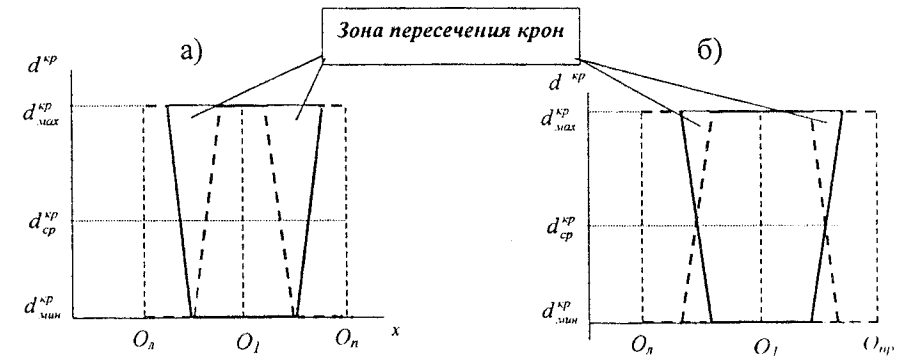


Рисунок 5 – Степень пересечения кроны дерева подлежащего валке и деревьев ограничивающих просвет деревьев в зависимости от диаметра кроны, при расстоянии между деревьями, ограничивающими просвет ($O_d O_{np}$):

а) $O_d O_{np} = 2d_{мин}^{кр}$; б) $O_d O_{np} = 2d_{ср}^{кр}$;

Полная вероятность беспрепятственной валки дерева в каждом из двух рассмотренных частных случаев определится как произведение вероятности наличия расчетного просвета в заданном секторе валки и возможности пересечения кроны вырубаемого дерева и кроны деревьев ограничивающих просвет деревьев в степени, не превышающей установленный уровень

$$P = P_0 \mu_p; \quad (1)$$

где P_0 - вероятность беспрепятственной валки дерева в расчетный просвет между кронами деревьев ограничивающих просвет.

Под вероятностью беспрепятственной заготовки дерева при несплошных рубках понимается возможность выполнения направленной валки и исключения при этом повреждения деревьев, оставляемых на доращивание.

Функция нечеткого подмножества пересечения кроны дерева подлежащего валке и крон деревьев ограничивающих просвет, характеризуется функцией принадлежности, $\mu_p: X \rightarrow [0,1]$, которая ставит в соответствие каждому $x \in X$ число $\mu_p(x)$ из интервала $[0,1]$, характеризующее степень принадлежности элемента x подмножеству p . Причем 0 и 1 представляют собой соответственно низшую и высшую степень принадлежности элемента к подмножеству p .

На основе функции принадлежности пересечения кроны вырубемого дерева и крон деревьев ограничивающего просвет может быть построена функция принадлежности (желательности) беспрепятственной валки дерева (рисунок 6).

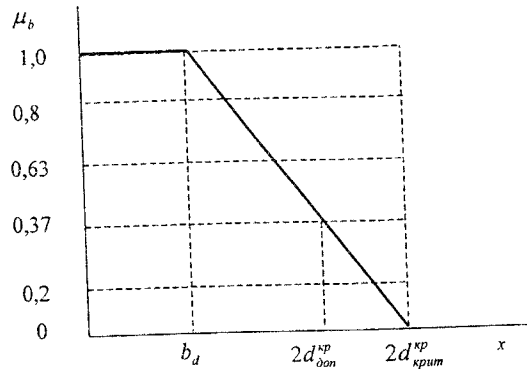


Рисунок 6 – Функция желательности беспрепятственной валки дерева

Расчет степени пересечения кроны вырубемого дерева и крон деревьев, оставляемых на доращивание, при расстоянии между деревьями, ограничивающими просвет в два минимальных и два средних диаметра кроны показал:

- при расстоянии между деревьями, ограничивающими просвет равном $2d_{мин}$ только при 6 вариантах сочетания диаметров крон из 25, степень пересечения крон позволяет считать валку дерева беспрепятственной;
- увеличение расстояния между деревьями, ограничивающими просвет до $2d_{ср}$ приводит к увеличению доли благоприятных сочетаний диаметров крон до 22/25.

Вероятность беспрепятственного повала дерева в заданном направлении, при условии пуассоновского распределения числа деревьев на малых площадях составит

$$P = e^{-\frac{hb_d}{S_d}}, \quad (2)$$

где h - высота дерева, м;

b_d - просвет, необходимый для беспрепятственного повала дерева, м;

S_d - густота древостоя, м²/дер.

В общем случае для n рассматриваемых направлений вероятность беспрепятственной валки дерева составит:

$$P(n) = P(S_n) \left[1 - \prod_{j=1}^n (1 - \prod_{i=1}^n P(S_i))_j \right], \quad (3)$$

где S_i - размер площадки i -кратного перекрытия, ($i = 1, 2, \dots, n$)

j - число рассматриваемых направлений валки, ($j = 1, 2, \dots, n$)

Размер площадки n -кратного перекрытия при прочих равных условиях определяется величиной сектора валки (φ).

Зависимость вероятности беспрепятственной валки дерева, от числа рассматриваемых возможных направлений валки, в секторе 0,196 и 0,463 радиана (11 и 26 градусов) при $b_d = 5$ м, $h = 20$ м и $S_d = 30$ м² представлена на рисунке 7.

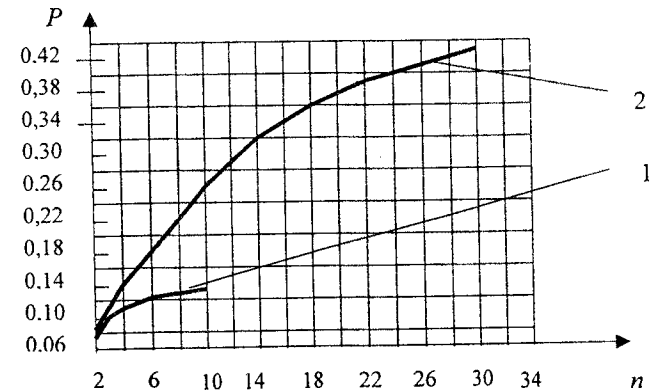


Рисунок 7 - График зависимости вероятности беспрепятственной валки дерева в заданном секторе, от числа рассматриваемых возможных направлений: 1-для $\varphi=0,197$ рад. (11 град.); 2- для $\varphi=0,463$ рад. (26 град.)

График зависимости максимальной вероятности беспрепятственной валки дерева от сектора валки при заданных условиях приведен на рисунке 8.

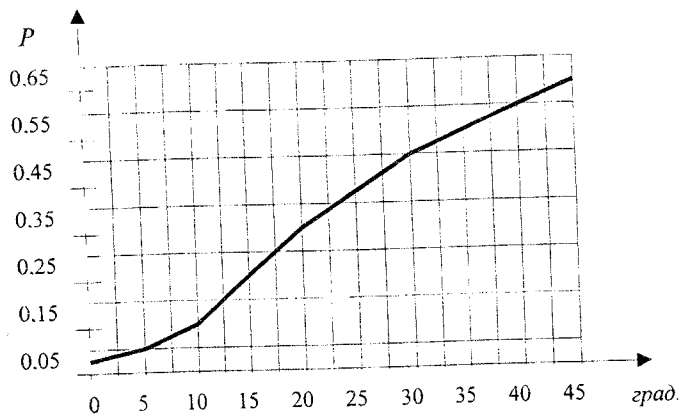


Рисунок 8 - График зависимости максимальной вероятности беспрепятственной валки дерева от сектора валки

При условии валки дерева на волок в непосредственной близости от него вероятность беспрепятственной валки определяется с учетом сектора валки и расстояния до волока. График зависимости вероятности беспрепятственной валки дерева вершиной на волок в зависимости от расстояния между деревом и границей волока представлен на рисунке 9.

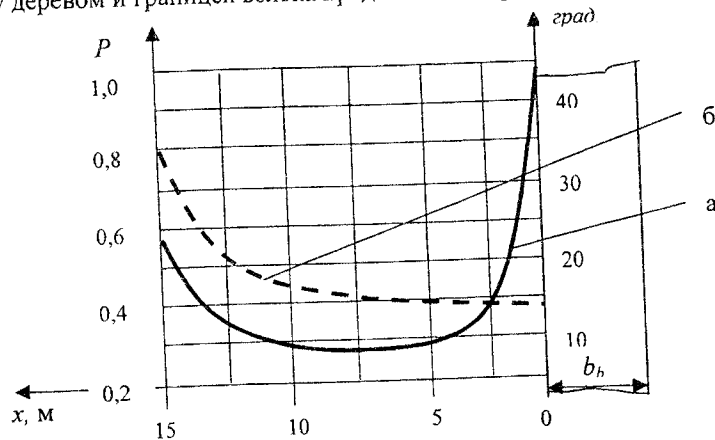


Рисунок 9 - График зависимости максимальной вероятности беспрепятственной валки дерева вершиной на волок (а) и сектора валки (б) от расстояния между деревом и границей волока

Соударение деревьев в процессе валки и соответственно вероятность повреждения деревьев, оставляемых на доразживание, событие противоположное беспрепятственной валке и его вероятность (повреждения кроны и ствола) приведены на рисунке 10.

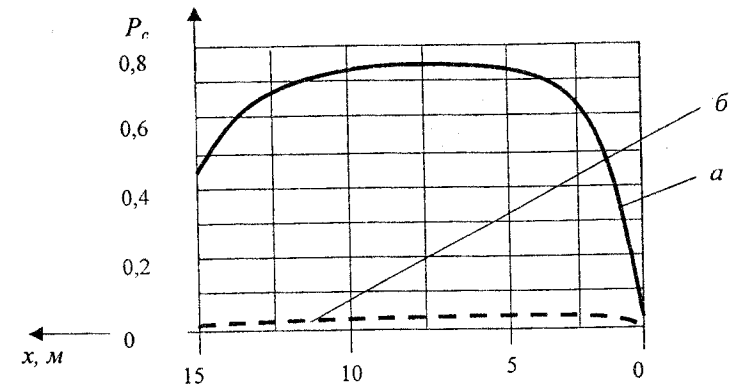


Рисунок 10 - График зависимости вероятности повреждения деревьев, оставляемых на доразживание, от расстояния между деревом и границей волока; а – ошмыга кроны, б – повреждения ствола

График вероятности ошмыга кроны (позиция а на рисунке 10) характеризует вероятность ошмыга кроны дерева оставляемого на доразживание в результате валки дерева с полупасеки вершиной на волок. График вероятности повреждения ствола дерева характеризует вероятность лобового соударения деревьев (соударения стволами) в результате валки дерева с полупасеки вершиной на волок. Диапазон вероятностей заключенный на рисунке 10 между графиками а и б, отражает возможную степень повреждения кроны дерева от минимального - при пересечении 10% диаметра кроны, до максимального - при пересечении 50% крон деревьев (соударения стволов). Риск повреждения ствола дерева, оставляемого на доразживание, соударением со стволом вырубаемого дерева при его валке составляет при этом не более 2% (рисунок 10б).

Точность валки деревьев с помощью бензиномоторных пил была экспериментально исследована на соревновании вальщиков Свердловской области в 2002-2003 годах.

Отклонение падения дерева от заданного направления валки может быть представлено стандартной записью нормального закона распределения

$$f(\beta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\beta-a)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4)$$

где σ - среднеквадратическое отклонение случайной величины, а - математическое ожидание угла отклонения повала дерева.

Гистограмма распределения частоты отклонений от заданного направления валки приведена на рисунке 11.

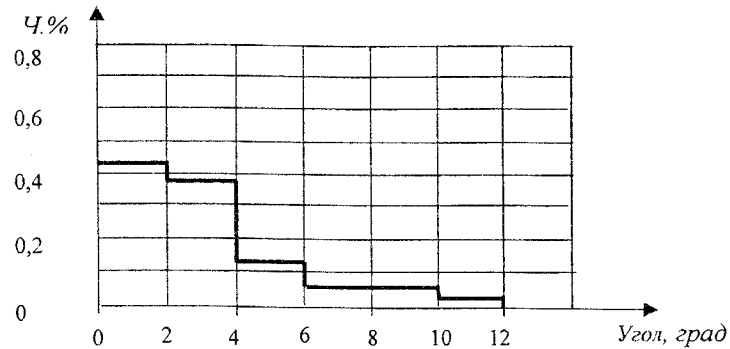


Рисунок 11 – Частота отклонений дерева от заданного направления при его механизированной валке

Для участников чемпионата области математическое ожидание отклонения дерева от заданного направления составило $3,6^0$, а среднеквадратическое отклонение $2,4^0$. Доверительный интервал сектора валки дерева с 90% доверительной вероятностью составляет для выборки $\pm 4,6^0$.

Увеличение вероятности соударения P при этом определится по

формуле $P_c = 1 - e^{-\frac{h^2 \lg \beta}{S_d}}$. Результаты расчетов зависимости вероятности соударения деревьев от густоты формируемого древостоя с учетом отклонения от выбранного направления валки представлены на рисунке 12.

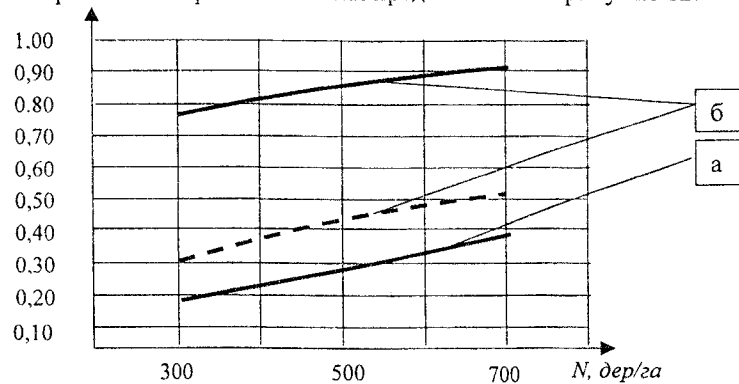


Рисунок 12 – Вероятность соударения деревьев при отклонении от заданного направления валки: а – с учетом соударения стволами при отклонении на 3^0 и более от заданного направления; б – с учетом 10% соударения кронами при отклонении на 3 и 12^0

Процесс перемещения лесоматериалов (деревьев, хлыстов и их частей) на волок может выполняться различным оборудованием, которое по

способу захвата лесоматериала, его удержания и перемещения, можно условно разделить на следующие группы (рисунок 13):

- а) перемещение лесоматериала в полуподвешенном положении на подвеске центр вращения которой перемещается вдоль волока;
- б) перемещение лесоматериала волочением с помощью шарнирно закрепленного на трелевочном механизме захвата;
- в) перемещение лесоматериала в полуподвешенном положении на гибком канате с точкой его крепления (на барабане, блоке) расположенной не на продольной оси лесоматериала;
- г) перемещение лесоматериала волочением канатом с точкой его крепления (на барабане, блоке) расположенной не на продольной оси лесоматериала.

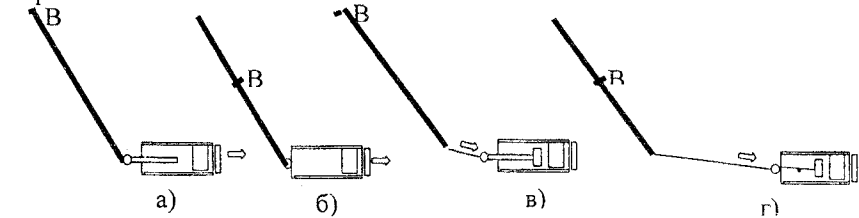


Рисунок 13 – Схемы перемещения лесоматериалов на волок

Расстояние необходимое для полного перемещения лесоматериала на волок и площадь необходимая для разворота по каждому способу захвата лесоматериала приведена в таблице 1. Вероятности повреждения деревьев при этом приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Вероятность повреждения деревьев при перемещении лесоматериала на волок

Вариант захвата	Длина л/мат., м	Хотя бы одного дерева				Двух и более деревьев			
		угол привала дерева к волоку				угол привала дерева к волоку			
		60	45	30	15	60	45	30	15
а	15	0,82	0,63	0,37	0,05	0,51	0,26	0,08	0,00
	10	0,31	0,17	0,05	0,00	0,06	0,02	0,00	
	5	0,10	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00		
б	15	0,52	0,33	0,18	0,06	0,17	0,06	0,02	0,00
	10	0,25	0,17	0,08	0,00	0,13	0,02	0,00	
	5	0,13	0,06	0,03	0,00	0,01	0,00		
в	15	0,99	0,99	0,99	0,84	0,99	0,99	0,99	0,55
	10	0,99	0,96	0,74	0,12	0,97	0,84	0,39	0,00
	5	0,68	0,26	0,10	0,00	0,32	0,04	0,01	
г	15	0,61	0,39	0,22	0,10	0,24	0,09	0,03	0,01
	10	0,34	0,22	0,11	0,02	0,07	0,03	0,01	
	5	0,25	0,11	0,05	0,00	0,04	0,01		

Риски, учитывающие вероятность повреждения кроны и стволов деревьев, оставляемых на дорашивание, в процессе валки и трелевки отведенных в рубку деревьев, определяются как полная вероятность двух независимых событий повреждения деревьев при валке и при трелевке. С учетом того, что беспрепятственное выполнение операций валки и трелевки дерева, с одной стороны, и повреждение деревьев оставляемых на дорашивание, с другой стороны, являются событиями противоположными, полная вероятность повреждения деревьев составляет

$$P = (1 - P_{кр})(1 - P_{см}). \quad (5)$$

Таблица 2 – Вероятность повреждения хотя бы одного дерева оставляемого на дорашивание при перемещении лесоматериала на волок

Расстояние от волока, м	Вариант захвата											
	а				б				г			
	угол привала дерева к волоку				угол привала дерева к волоку				угол привала дерева к волоку			
	60	45	30	15	60	45	30	15	60	45	30	15
до 1	,41	,33	,22	,04	,17	,12	,04	,03	,26	,17	,08	,05
1-2	,31	,21	,11	,01	,10	,06	,05	,03	,18	,10	,08	,05
2-3	,23	,15	,06	-	,06	,03	,05	-	,11	,05	,06	-
2-3	,17	,10	,03	-	,05	,02	,04	-	,05	,02	,02	-
3-4	,12	,05	,01	-	,04	,02	,02	-	,02	,01	,01	-
4-5	,09	,03	,00	-	,05	,02	,00	-	,03	,01	-	-
Более 5	,17	,03	-	-	,22	,12	-	-	,20	,11	-	-

Уменьшение риска повреждения деревьев, оставляемых на дорашивание, может быть достигнуто за счет максимального использования просветов, создаваемых в результате рубки. С этой целью отвод и валка деревьев начинается в непосредственной близости от волока с постепенным удалением. Каждое следующее для валки дерево назначается из числа тех, которые могут быть повалены на свободную площадку, образованную с учетом предыдущего поваленного дерева, располагавшегося ближе к волоку. Таким образом, формируется коридор или заруб под некоторым углом к волоку. Необходимая степень изреживания может достигаться как за счет изменения расстояния между коридорами, так и за счет пересечения коридоров разрушаемых со смежных волоков. При этом коридоры, разрушаемые со смежных пасек, пересекаются, формируя насаждение мозаичной структуры, ячейки которой ограничены зарубленными коридорами.

Четвертая глава посвящена исследованиям вероятности первичного повреждения элементов леса лесозаготовительными машинами при сплошных рубках. Приведены конструкции и методика расчета напряже-

ний и деформаций в поперечном сечении многослойного хворостяного настила трелевочного волока.

При реализации всех видов сплошных рубок манипуляторными лесозаготовительными машинами при расчете ширины пасеки необходимо учитывать возможность заготовки дерева на всей площади пасеки. Эта возможность определяется доступностью отведенного в рубку дерева, а также вероятностью его беспрепятственного выноса или валки в заданном направлении. Доступность дерева при этом характеризует возможность беспрепятственной доставки захватно-срезающего устройства (ЗСУ) к дереву, подлежащему валке, а возможность выноса или валки определяют дополнительно степень риска повреждения деревьев, оставляемых на дорашивание.

Достигаемость дерева с рабочей позиции определяется взаимным положением дерева и ЛЗМ, а также вылетом манипулятора. Вынос дерева из насаждения к месту его укладки или выполнения других технологических операций, в условиях ограничения повреждений деревьев оставляемых на дорашивание, предполагает наличие достаточного просвета. Укладка дерева или его валка не на волок также ограничиваются наличием необходимых размеров просветов между деревьями, оставляемыми на дорашивание.

Максимальная величина площади, обрабатываемой с рабочей позиции ЛЗМ, достигается при шахматном расположении рабочих позиций на смежных лентах. Расстояние между рабочими позициями и ширина ленты и при этом должны составлять:

$$\begin{cases} L_{опт} = R\sqrt{3} \\ B_{опт} = R\frac{3}{2} \end{cases} \quad (6)$$

Невозможность выполнения переезда на расчетное расстояние при отсутствии зарубленного волока может привести к появлению участков недосягаемых для ЗСУ ЛЗМ. Рассчитанные вероятности дополнительного расстояния переезда и экспериментальная частота, полученная на имитационной модели, для работы ЛЗМ в насаждении с густотой древостоя 500 дер/га представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Вероятность / частота дополнительного расстояния переезда ЛЗМ при рубке волока

Ширина ЛЗМ, м	Дополнительное расстояние переезда (l_d), м						
	1	2	3	4	5	6	7
2	0,9048	0,8187	0,7408	0,6703	0,6065	0,5488	0,5966
3	0,8607	0,7408	0,6376	0,5488	0,4724	0,4066	0,3499
	0,8904	0,8026	0,7193	0,6272	0,5502	0,4982	0,4281
4	0,8187	0,6703	0,5488	0,4493	0,3679	0,3012	0,2466

Для ЛЗМ шириной 3 метра с максимальным и минимальным вылетами манипулятора 15 и 3 метра соответственно, вероятность оставления дерева не вырубленным для различных сочетаний расстояния переезда ЛЗМ и расстояния между осями лент в насаждении с густотой древостоя 500 дер/га приведена в таблице 5.

Доступность и возможность выноса дерева принято рассматривать однократную (с одной рабочей позиции) и многократную (с нескольких рабочих позиций). Понятие кратности относится при этом не только к дереву, но и к определенным площадям на пасеке, для каждой из которых кратность обработки деревьев есть величина постоянная. Кратность обработки отдельных площадей изменяется от единицы до многократного значения в случае, если вся площадь пасеки достижима для ЗСУ. Это условие выполняется при расчете ширины пасеки с учетом расстояния переезда ЛЗМ между рабочими позициями. Участки пасеки с максимальными значениями кратности обработки примыкают непосредственно к волоку.

Таблица 5 – Вероятность оставления дерева не вырубленным при различных сочетаниях расстояний переезда и ширины пасеки

$L / l_d, \text{ м}$	$B, \text{ м}$	$P(D_n)$
13/1	28,5	0,0214
14/2	28,3	0,0457
15/3	29	0,0849

Доступность P^n (однократная) деревьев с различных стоянок определяется по формуле: $P^n = e^{-(b_k + d_p) \sqrt{(x_n - x)^2 + y^2} C / S_d}$, (7)

где b_k - ширина просвета необходимого для доставки ЗСУ к дереву, м;

x_n - абсцисса стоянки с номером n , м;

C - коэффициент, учитывающий увеличение доступности за счет волока, $C = 1 - b_b / 2y$;

n - номер стоянки.

Средняя доступность на пасеке в целом может быть определена с использованием теоремы о среднем: двойной интеграл равен произведению среднего значения подынтегральной функции на площадь области интегрирования. Подынтегральной функцией в данном случае является

$$\text{функция доступности } P_k = \frac{I_1 + I_2 + \dots + I_k}{(V - b_b / 2)a / 2} = \frac{\sum_{m=1}^k I_m}{a(2V - b_b)}, \quad (8)$$

где V - ширина пасеки, м;

b_b - ширина волока, м;

I_m - двойной интеграл функции вероятности в области интегрирования, соответствующий кратности обработки k

$$I_m = \int_{x_1}^{x_2} dx \int_{y_1}^{y_2} P_m(x, y) dy. \quad (9)$$

Вероятность заготовки дерева многооперационными ЛЗМ с грузонесущим манипулятором складывается из вероятности независимых событий доступности дерева, возможности выноса на волок, укладки дерева для дальнейшей его обработки

$$P = P_{\text{вын}} P(S). \quad (10)$$

Вероятность повреждения деревьев оставляемых на доращивание составит при этом $P_c = 1 - P$

Вероятность выноса дерева из насаждения (однократная) составит

$$P_{\text{вын}} = e^{-b_k \sqrt{(x_n - x)^2 + y^2} C / S_d}, \quad (11)$$

где b_k - ширина просвета необходимого для выноса дерева, м;

x_n - абсцисса стоянки с номером n , м.

Однозахватные валочно-сучкорезно-раскряжевные машины, при рубке пасеки могут работать двумя способами, отличающимися ориентацией пакетов сортиментов. При первом способе пакеты сортиментов укладываются перпендикулярно к волоку, а при втором параллельно ему. Первый способ позволяет рассортировать разноименные сортименты в пакеты, которые могут быть размещены без взаимного наложения, что облегчит работу при наборе воза трелевочным трактором. Причем упрощается как формирование пакетов, так и их захват при погрузке. Кроме того, создаются условия для укладки большего количества пакетов вдоль волока при возможности частичного сохранения деревьев, оставляемых на доращивание, и подроста в непосредственной близости от волока. Однако этот способ предполагает валку деревьев под прямым или близким к нему углом к волоку, а это в свою очередь - наличие просвета достаточных размеров для укладки дерева.

На рисунке 14 представлены контуры разрабатываемого со стоянки коридора и рабочей зоны ВСРМ при несплошных рубках в целом. Условно можно разделить рабочую зону на три части: участок волока, коридор и часть полупасеки, заключенную между смежными коридорами. Расстояние переезда ВСРМ определяется с заданной вероятностью с учетом просветов между деревьями. Угол примыкания коридора к волоку - прямой. Рассматриваемый алгоритм работы ВСРМ предполагает наличие минимального количества рабочих позиций при разработке лесосеки.

При наличии коридора для укладки дерева вероятность беспрепятственной заготовки дерева ВСРМ равна вероятности беспрепятственного выноса дерева на волок с учетом кратности обработки различных участков пасеки. Площадка между границами коридоров прорубленных на смежных рабочих позициях представляет собой характерный для всей пасеки повто-

ряющийся элемент, на котором выделяются участки одно- и двукратной обработки (рисунок 15).

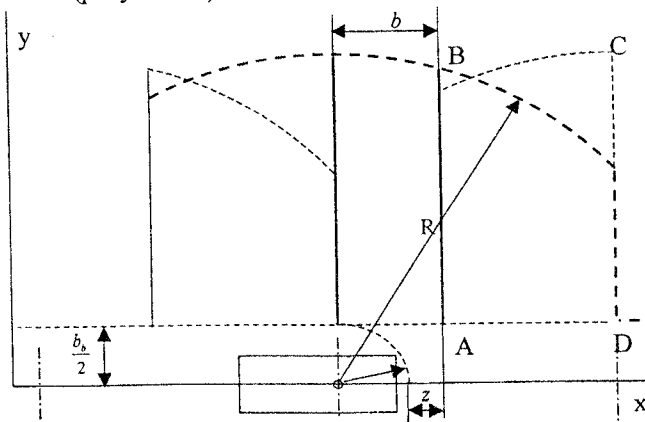


Рисунок 14 - Контуры рабочей зоны ВСРМ с коридором для несплошных рубок

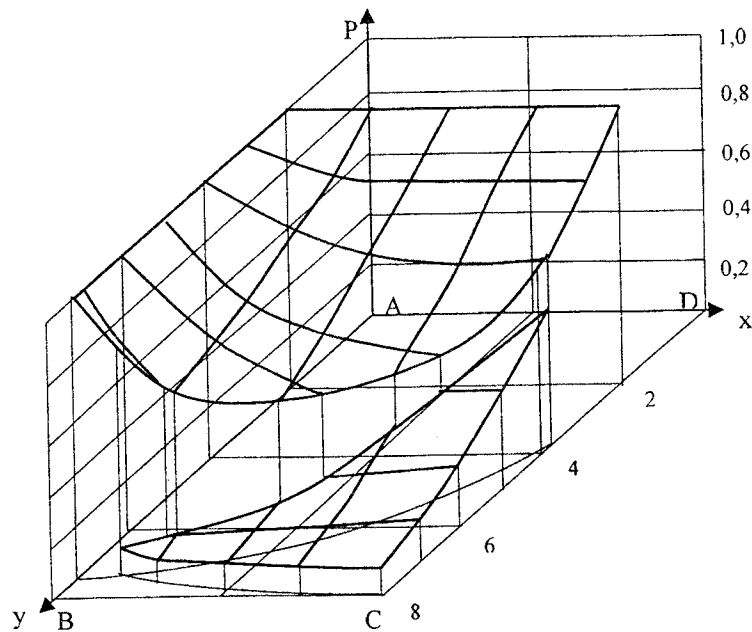


Рисунок 15 - Вероятность беспрепятственной заготовки деревьев ВСРМ с участка ABCD

Вероятность беспрепятственной заготовки может быть увеличена за счет уменьшения расстояния между рабочими позициями и наклона продольной оси коридора к волоку. В результате наклона продольной оси коридора к волоку, зона однократной обработки граничит максимально с коридором (рисунок 16), что увеличит вероятность беспрепятственной заготовки при однократной обработке (рисунок 17).

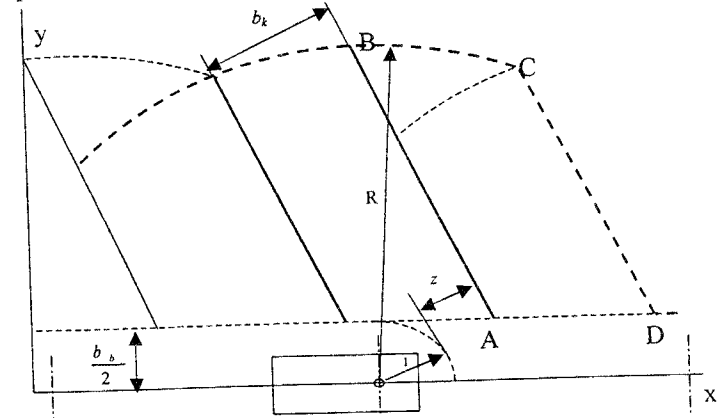


Рисунок 16 - Контуры рабочей зоны ВСРМ с коридором прорубленным под углом к волоку для несплошных рубок с максимальной вероятностью беспрепятственной заготовки

Угол примыкания коридора к волоку составит

$$\delta = \arccos \frac{a}{2R}, \quad (12)$$

где a – расстояние между стоянками ЛЗМ, м.

При работе ЛЗМ под пологом древостоя ее перемещение, с целью минимизации повреждений компонентов леса, осуществляется по криволинейному маршруту. Такой способ используется при необходимости максимального сохранения куртин подроста, целевых деревьев при рубках ухода и основан на максимальном использовании прогалин и при объезде препятствий. Контур машины должен при этом перемещаться в пределах полосы свободной от деревьев.

Для этих машин вероятность проезда, между двумя деревьями в зависимости от густоты насаждения, показана на рисунке 18 сплошной линией. Расстояние между деревом и ЛЗМ при объезде менее 0,5 м рассматривается как неизбежное повреждение дерева в той или иной мере. Вероятность этого события на рисунке соответствует пунктирной линии. Соответственно, зоны между пунктирными и сплошными линиями определяют вероятность повреждения деревьев при этих условиях.

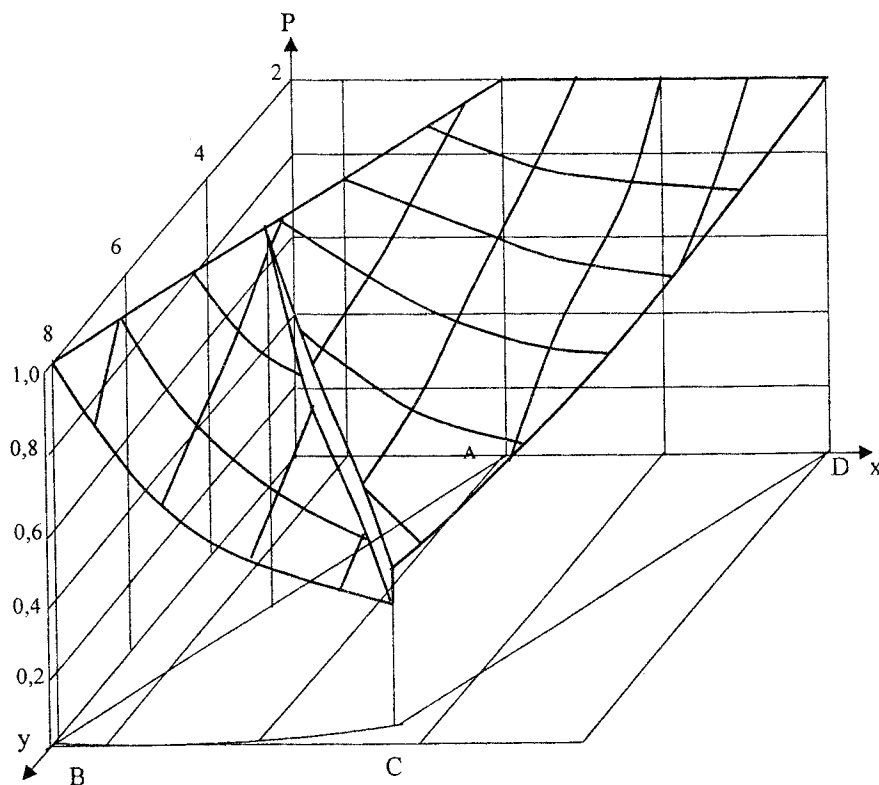


Рисунок 17 - Вероятность беспрепятственной заготовки деревьев ВСРМ с участка ABCD граничащего с коридором прорубленным под углом к волоку

Заготовка древесины в Уральском регионе затруднена недостаточной несущей способностью грунтов (30% лесного фонда с устойчиво влажными и сырыми и 39% с периодически влажными грунтами). При работе ЛЗМ в этих условиях происходит не только уплотнение почвы, но и ее деформация с образованием колеи и, как следствие, повреждение корневых систем деревьев при несплошных рубках. Характеристика хворостяной подушки, выполняющей функции дорожного полотна и перераспределяющей нагрузки от движителей ЛЗМ на грунт, с целью предотвращения его деформации, должны определяться расчетом.

Условием работы хворостяной подушки как гибкой пластины, передающей нагрузку во всех направлениях, является ориентация отдельных ее элементов. Таковой может быть укладка порубочных остатков чередующимися продольными и поперечными слоями. При расчете предполагает-

ся, что слои уплотнены так, что обеспечивается их совместная работа. Тогда в пределах упругой деформации применима гипотеза плоских сечений. Поэтому закон распределения удлинений и укорочений по высоте пакета линеен. Расчетная схема двухслойного хворостяного настила представлена на рисунке 19.

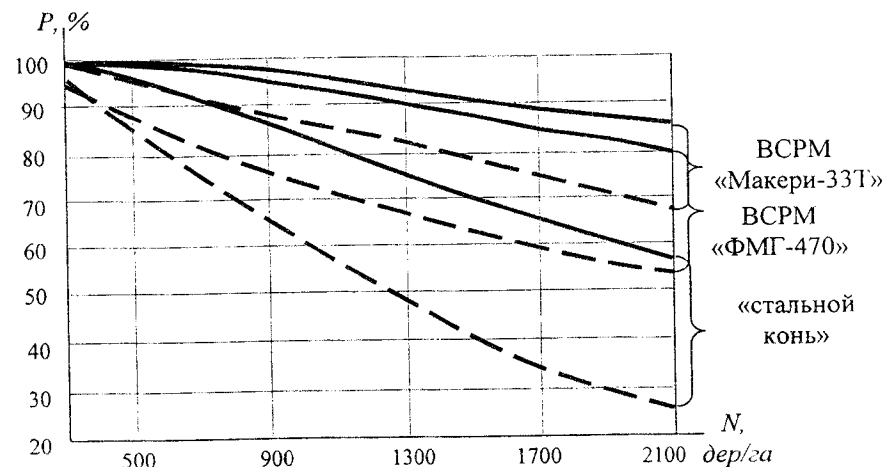


Рисунок 18 - Вероятность повреждения деревьев при перемещении ЛЗМ под пологом насаждения: — — — вероятность объезда дерева
— — — вероятность объезда зоны безопасности огибаемого дерева.

Условием равновесия слоев пакета под действием нормальных напряжений и изгибающего момента является равенство суммы сжимающих и суммы растягивающих напряжений, а также равенство суммы моментов внутренних сил относительно нейтральной оси изгибающему моменту.

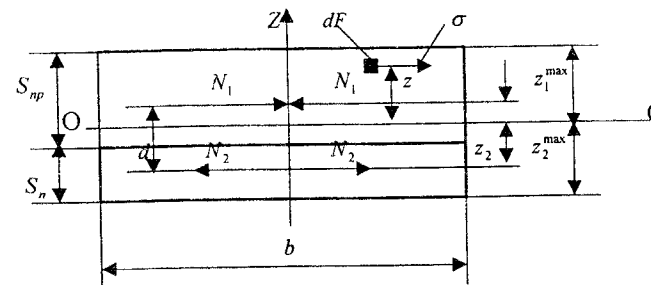


Рисунок 19 - Расчетная схема напряженного и деформированного состояния двухслойного прямоугольного пакета из порубочных остатков под действием изгибающих моментов:
1 - продольный слой; 2 - поперечный слой.

Задача определения деформаций пакета является главной при оценке его формоизменяемости. Величина прогиба пакета составит:

$$f = -\frac{2ab}{12(1-\mu^2)} \left\{ \frac{2+\alpha-\mu\alpha}{1+\frac{b^2}{a^2}} \operatorname{sha} \left[\frac{M+N}{1+\frac{b^2}{a^2}} (3+\mu) + \frac{(2-\mu)(Nch\beta + N-M + Nch\beta)}{(3+\mu)(1-\mu)} \right] \right. \\ \left. + \left(sh \frac{\pi y}{a} - \frac{\pi y}{a} ch \frac{\pi y}{a} + \frac{(1+\mu+\alpha-\mu\alpha)}{(2+\alpha-\mu\alpha)} \cdot \frac{\pi y}{a} \cdot sh \frac{\pi y}{a} \right) + \frac{b^2(M+N)}{a^2 \left(1+\frac{b^2}{a^2} \right)^2} \cdot \frac{\pi y}{a} \exp \left(-\frac{\pi y}{a} \right) \right\} \cdot \sin \frac{\pi x}{a} \quad (13) \\ + \frac{b^2}{12(1-\mu^2)} \cdot \pi^2 \left[\frac{\beta(Mch-N)}{sh^2 \beta} \cdot sh \frac{\pi x}{b} - N \frac{\pi x}{b} \cdot sh \frac{\pi x}{b} + \frac{Nch\beta - M}{sh \beta} \cdot \frac{\pi x}{b} \cdot ch \frac{\pi x}{b} \right] \cdot \frac{\sin \pi y}{b}$$

Вычисленный таким образом прогиб f хворостяного настила под действием нагрузки M определяет процесс колееобразования в различных почвенно-грунтовых условиях и позволяет судить о достаточности укрепления волока порубочными остатками для вытрелевки заготовленной древесины.

Расчет прогибов многослойного пакета по приведенной методике выполнен для нагрузки, характерной для колесного трехосного трелевочного трактора с шириной колес низкого давления 750 мм, собственной массой 15600 кг и максимальной допустимой нагрузкой 16000 кг. Результаты расчетов прогибов под колесом форвардера в зависимости от рейсовой нагрузки (от 10 до 16 м³) для хворостяного настила толщиной от 10 до 30 см приведен в таблице 6.

Таблица 6 – Величина прогибов хворостяного настила волока, мм

Толщина настила, см	Рейсовая нагрузка, м ³			
	10	12	14	16
10	31	39	47	54
20	4	5	6	7
30	1	1	2	2

Величины прогибов хворостяного настила проезжей части волока под действием нагрузки (см. таблицу 6) свидетельствует о высокой эффективности укрепления волока. Снижение рейсовой нагрузки также ведет к снижению прогибов, однако, в пределах варьирования факторов. Эффективность при этом ниже, чем при увеличении толщины хворостяного настила.

В пятой главе приведены результаты экспериментальных исследований технологических процессов лесосечных работ методом имитационного моделирования и при хронометражных наблюдениях в производственных условиях.

При разработке имитационных моделей в сложной системе лесосечных работ выделены три подсистемы: моделирование лесосеки и ее элементов, моделирование насаждения и параметров деревьев и моделирование работы ЛЗМ. Изложены математические модели подсистем. Приведены отдельные принципиальные и операторные блок-схемы.

Выполнены исследования непрямолинейного перемещения ЛЗМ флангового действия. Установлено увеличение ширины ленты разрабатываемой узкозахватной фланговой ЛЗМ за счет маневрирования в эксперименте от 0,4 до 3,4 метра в зависимости от густоты насаждения и крутизны маневрирования. Графическая интерпретация уширения ленты, разрабатываемой за один проход, в зависимости от густоты насаждения при ограниченной крутизне маневрирования приведена на рисунке 20.

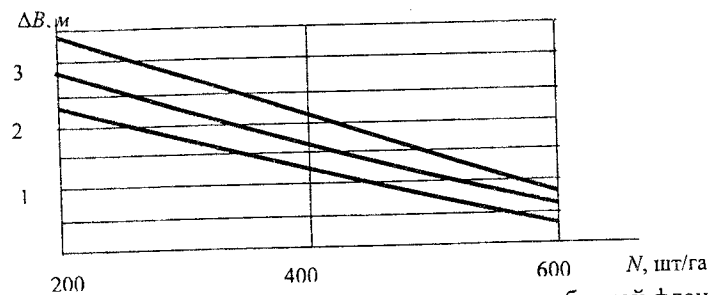


Рисунок 20 – Зависимость уширения ленты разрабатываемой фланговой ЛЗМ от густоты насаждения

В общем случае ширина ленты разрабатываемой за один проход фланговой ЛЗМ определится как сумма вылета технологического оборудования и уширение ленты за счет маневрирования: $B = \Delta B + R$.

На рисунке 21 приведена зависимость расстояния переезда фланговой ЛЗМ между рабочими позициями от густоты насаждения при прямолинейном перемещении ЛЗМ по ленте и маневрировании.

Из рисунка следует, что изменение крутизны маневрирования в анализируемом диапазоне густоты древостоев оказывает незначительное влияние на среднее расстояние переезда ЛЗМ на одно заготовленное дерево (0,9-2,3 и 0,1-0,7 метра для ЛЗМ с шириной рабочей зоны 2 и 6 метров соответственно, в зависимости от минимального радиуса поворота). Вместе с тем маневрирование позволяет уменьшить путь перемещения ЛЗМ, отнесенный к одному заготовленному дереву на 2,3 - 15,7 и 0,3 - 3,0 метра для тех же условий в сравнении с прямолинейным перемещением. Это составляет для ЛЗМ с шириной рабочей зоны технологического оборудования

метра – 28-63% и для ЛЗМ с шириной рабочей зоны технологического оборудования 6 метров – 11-36%.

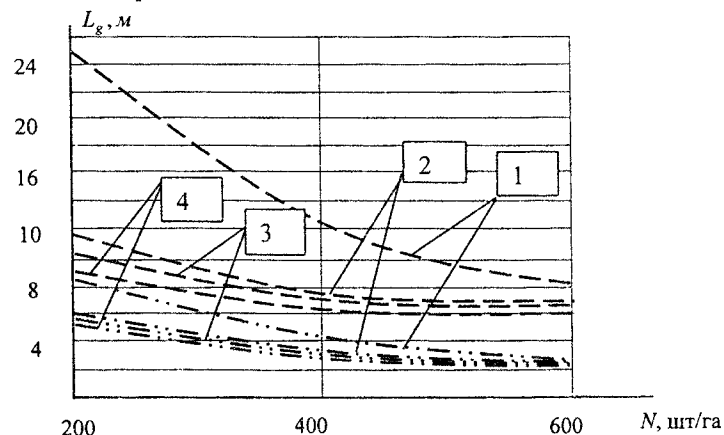


Рисунок 21 - Зависимость расстояния переезда отнесенного к одному заготовленному дереву от густоты насаждения при прямолинейном перемещении (1) и маневрировании с минимальным радиусом поворота 8 м (2); 6 м (3); и 4 м (4);
 — — — для ЛЗМ с шириной рабочей зоны 2 метра,
 — · — · — для ЛЗМ с шириной рабочей зоны 6 метров

Выполнена оптимизация вылета манипулятора полноповоротной ЛЗМ, оснащенной ЗСУ с накопителем, для выполнения сплошных рубок в маломерных (низкобонитетных) насаждениях. В качестве базового трактора для установки технологического оборудования ЛЗМ приняты ТТ-4 и ТДТ-55. Интервалы вылетов манипулятора близкого к оптимальному для работы в насаждениях IV, V и V^a бонитетов приведены на рисунке 22.

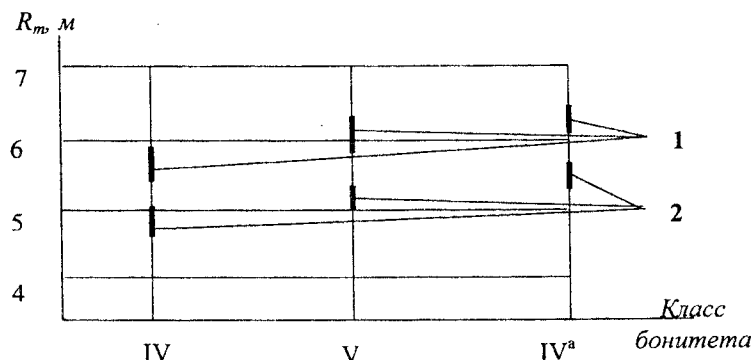


Рисунок 22 - Интервалы оптимального вылета манипулятора ЛЗМ оснащенного ЗСУ с накопителем: 1 – на базе ТТ-4; 2 – на базе ТДТ-55

Для экспериментальных исследований работы харвестеров и форвардеров в производственных условиях разработана методика исследования рабочего времени, выделены фиксажные точки элементов, составляющих цикл.

В результате исследований выделен ряд разновидностей циклов работы харвестера: полный цикл, цикл с перезахватом дерева в процессе его обработки, сложные циклы, включающие переезд, подпил и другие дополнительные элементы.

По результатам обработки хронометражных наблюдений получены регрессионные уравнения зависимости затрат времени на выполнение основных элементов цикла и переезд между рабочими позициями. Определены статистические характеристики характеризующие затраты времени на простой внутри цикла.

В шестой главе приведена экономико-математическая оценка рисков при выполнении рубок. За основу взята экономическая модель процессов лесозаготовок и лесовосстановления, учитывающая ущерб в результате снижения эффекта рубок главного пользования и рубок ухода за счет неправильного или некачественного выполнения.

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + Y, \quad (14)$$

где C_1, C_2, C_3, C_4 – соответственно удельные приведенные затраты на лесовосстановительные работы, лесосечные работы, транспортные затраты и лесоскладские работы;
 Y – ущерб от снижения лесоводственного эффекта рубок главного пользования и рубок ухода за счет неправильного или некачественного выполнения.

Если количественной мерой возможности наступления неблагоприятного события (возникновение ущерба) является вероятность, то само понятие ущерба традиционно характеризуется стоимостными или объемными показателями. Таким образом, количественная мера риска возникновения ущерба может быть определена как математическое ожидание ущерба, в результате множества возможных неблагоприятных событий (величина среднего риска), который составит

$$Y = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_j P_i(j) X_i, \quad (15)$$

где P_j – вероятность наступления неблагоприятного события j -го типа;

$P_i(j)$ – вероятность получения ущерба размера X_i в результате наступления неблагоприятного события j -го типа;

X_i – величина ущерба, выраженная в натуральных показателях в результате повреждения i -го неблагоприятного события;

n – число возможных вариантов ущерба, которые могут возникнуть в результате повреждения элементов леса.

Неблагоприятным событием здесь следует считать первичное повреждение элементов леса и отступление от оптимальных параметров рубки, в результате которого возникает прямой ущерб, а также возникновение вторичного ущерба также являющимся косвенным следствием первичных повреждений.

Величина ущерба может быть снижена посредством принятия мер с целью уменьшения потерь от неблагоприятного события или занять активную позицию по отношению к неблагоприятному событию и выбрать ситуацию, характеризующуюся другой вероятностью его проявления.

Первый вариант снижения ущерба связан с определенными затратами. При расчете величины хозяйственного ущерба необходимо увязать вероятность ущерба $P_i(j)$ с произведенными затратами на его предотвращение (уменьшение). В этом случае выражение примет вид:

$$Y = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_j P_i(j, D_j) X_i, \quad (16)$$

где $P_i(j, D_j)$ – условная вероятность возникновения ущерба X_i при наступлении неблагоприятного события j -го типа и осуществления защитных мероприятий от него с затратами D_j .

Второй вариант управления ущербом предусматривает возможность выбора ситуации с той или иной вероятностью наступления неблагоприятного события, например, с большей вероятностью ущерба в отдаленном будущем, рассчитывая получить дополнительные прибыли в настоящем без дополнительных затрат. Другая стратегия предусматривает избежание риска: выбор времени, места и системы рубок с меньшими рисками негативных последствий для элементов леса, но и меньшей экономической результативностью. С учетом возможности такого выбора величина среднего риска определится следующим образом:

$$Y = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij}(t) P_j P_i(j, D_j) X_i, \quad (17)$$

где $p_{ij}(t)$ – вероятность выбора ситуации, характеризующейся вероятностью наступления неблагоприятного события P_j и законом распределения ущерба $P_i(j, D_j)$, в свою очередь зависящим от принятых мер по защите D_j .

На рисунке 23а приведена вероятность повреждения 1-го, 2-х, 3-х и 4-х деревьев при перемещении лесоматериала длиной 15 м на волок в полуподвешенном положении (см рисунок 13), а также ущерб при равном (единичном) повреждении деревьев.

Снижение вероятности повреждения деревьев и соответственно величины среднего ущерба может быть достигнуто уменьшением длины трелеваемых лесоматериалов, валкой деревьев на волок под минимально возможными углами, а также способом захвата, предусматривающим управ-

ляемое перемещение лесоматериала. Так изменение способа захвата и перемещения лесоматериала на волочение с помощью шарнирно закрепленного на трелевочной машине захвата, при прочих равных условиях, позволит уменьшить риски повреждения деревьев и снизить средний ущерб до уровня, приведенного на рисунке 23б.

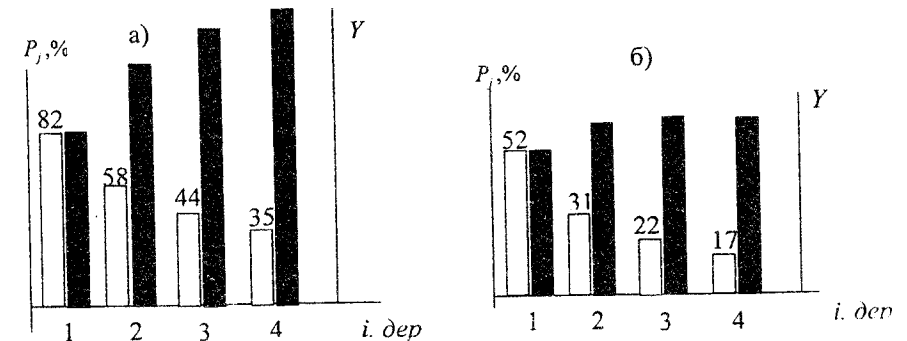


Рисунок 23 – Вероятность повреждения (□) от 1-го до 4-х деревьев и соответствующий этому средний ущерб (■) при перемещении лесоматериалов длиной 15 м на волок: а) в полуподвешенном положении; б) волоком с помощью шарнирно закрепленного захвата

Сравнение средних ущербов для формируемого древостоя при двух сравниваемых вариантах захвата и перемещения лесоматериалов на волок свидетельствует о возможности их уменьшения в 2,5 раза за счет замены технологического оборудования трелевочной машины.

Вероятности повреждения оставляемых деревьев и величина среднего ущерба при условии реализации всего комплекса защитных технологических мероприятий (уменьшения длины трелеваемых лесоматериалов до 5 м при их расположении под углом не более 30° к волоку и перемещении волочением с помощью шарнирно закрепленного на трелевочной машине захвата) равны 0, т.е. практически исключены.

Сложность учета на практике всех видов ущерба в результате прямого и косвенного снижения сырьевых, средообразующих и социальных функций леса из-за отсутствия единых нормативов усугубляется длительностью временного отрезка, на котором проявляется негативные последствия, формируя ущерб. Однако для каждого участка леса с учетом назначения величина ущерба может быть связана с отклонением текущего состояния элементов леса от нормативного. В этом случае для эколого-экономических рисков с учетом множества рассматриваемых элементов леса выражение для расчета среднего риска, можно представить в следующем виде:

$$Y = \sum_k \sum_i \sum_j p_j(\Delta S_j) P_{kij}(i, D_{kj}, \Delta S_j) X_i, \quad (18)$$

где $P_{kij}(i, D_{kj}, \Delta S_j)$ – условная вероятность k -го компонента леса получить ущерб X_i , выраженный в стоимостной форме, в результате отклонения состояния компонента леса от нормативного состояния на величину ΔS_j и проведения защитных мероприятий от этого воздействия объемом D_{kj} .

$P(\Delta S_j)$ – вероятность нарушения компонента леса объемом ΔS_j .

Ущерб, выражается в потере прироста и снижении качества стволовой древесины в результате образования гнилей, наряду со снижением других функций леса. Образование гнилей может провоцироваться повреждением корневой системы и ствола дерева, а потеря прироста, как за счет реакции деревьев на повреждения дерева и почвы, так и за счет недоиспользования части лесной площади в результате создания постоянной транспортной сети из волоков и технологических коридоров.

Снижение прироста в результате несплошных рубок может наблюдаться как реакция деревьев на механические повреждения: обдир ствола или корней (или их обрыв), ошмыг кроны. Эти потери возможного прироста дерева, снижают прирост насаждения в целом, однако, чрезмерное локальное изреживание так же приводит к потерям прироста, которые не могут быть отнесены к отдельным деревьям, а только к насаждению в целом. Суммарные потери прироста от указанных причин составят:

$$q'' = q'' + \sum q^0, \quad (19)$$

где q'' – потери прироста в результате чрезмерного изреживания, м^3 ;

q^0 – потери прироста дерева в результате его повреждения, м^3 .

Потери прироста в результате чрезмерного изреживания до густоты ниже оптимальной связаны с не полным использованием деревьями ресурсов почвы и светового потолка.

Потери прироста дерева возникают в результате повреждения деревьев, оставляемых на доращивание, в результате проведения несплошных рубок. Статистическая модель для оценки прироста с учетом возможных потерь может быть представлена в следующем виде:

$$\Delta q = q - \sum_{i=1} \sum_{j=1} q_i p_j k_{ij}, \quad (20)$$

где q_i – расчетный (максимальный) прирост дерева ступени толщины i ;

p_j – вероятность повреждения дерева до степени j ;

k_{ij} – коэффициент снижения прироста деревьев i ступени толщины поврежденных до степени j .

Суммарное влияние двух противоположных тенденций определяется условиями места произрастания, возрастом и породой деревьев, а также степенью повреждения почвогрунта.

Снижение качества связано с образованием стволовой гнили, снижающей качество части сортиментов выпиливаемых из ствола поврежденного дерева. Оценка снижения качества древесины может осуществляться по числу стволов с внутренней гнилью, образовавшейся в результате повреждения деревьев, и по снижению стоимости древесины деревьев, пораженных внутренней гнилью. Статистическая модель оценки снижения качества в результате образования стволовой гнили у части поврежденных в результате проведения несплошных рубок может быть представлена в виде

$$N_g = N P_{\text{руб}} P_{\text{о.гн}}, \quad (21)$$

где $P_{\text{руб}}$ – вероятность повреждения дерева при проведении рубок;

$P_{\text{о.гн}}$ – вероятность образования гнили у поврежденного дерева.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Анализ сложной системы лесопользования показал, что выбор технологического процесса должен осуществляться с использованием экологических, социальных и экономических групп критериев, среди которых выделяются критерии допустимости и критерии предпочтительности.

Выполненный анализ технологических процессов и математические модели расчета рисков повреждения элементов леса при выполнении рубок позволяют количественно оценить эти риски и на основе их анализа синтезировать параметры технологических процессов, наилучшим образом соответствующих интенсивному лесопользованию.

1. Эффективное лесопользование и воспроизводство лесных ресурсов в Уральском регионе на расширенной основе возможно только за счет резкого повышения его интенсивности при условии выполнения комплекса технологических процессов лесосечных и лесовосстановительных работ на лесотипологической основе с учетом основных функций леса.

2. Выбор технологического процесса лесосечных работ следует вести по трем группам критериев: социальная, экологическая и экономическая. Социальные и экологические группы критериев включают ограничения, позволяющие отсеять недопустимые для рассматриваемых условий технологии. Окончательный выбор осуществляется по экономическим критериям из числа допустимых и ранжированных по степени социальной и экологической предпочтительности технологий с учетом значимости групп критериев.

3. При оценке последствий рубок главного пользования и рубок ухода необходимо учитывать возможный ущерб, который характеризуется количественными и качественными потерями древесины наряду со снижением

ем других функций леса. Риски механических повреждений деревьев в процессе несплошных рубок должны при этом определяться с учетом степени пересечения крон деревьев.

4. Риски повреждения деревьев при селективном изреживании определяются густотой формируемого древостоя, параметрами вырубемого дерева, а также величиной сектора валки и близостью волока. Так при изреживании в процессе рубок главного пользования древостоев до густоты 330 дер/га и при условии валки деревьев вершиной на волок вероятность частичного ошмыга кроны хотя бы одного дерева по мере удаления от волока на расстояние до 4-5 метров возрастает до 70%, стабилизируется, а с расстояния 10-11 снижается до 42% при расстоянии 15 метров от волока. Вероятность соударения стволами для этих условий и соответственно риски повреждения стволов деревьев оставляемых на доращивание не превышают 2-3%. Отклонение от выбранного направления валки на угол 2° соответствует увеличению риска соударения до 20%.

5. Разработанная последовательность принятия решения при выборе оборудования и исполнителей для выборочной валки деревьев с заданными таксационными характеристиками, а также метода изреживания древостоя позволяет свести к минимуму риски механических повреждений элементов леса.

6. Рассмотренные математические модели перемещения лесоматериалов, при различных вариантах захвата, позволяют сравнить площади, необходимые для перемещения лесоматериалов на волок и оценить риски повреждения элементов леса при различных условиях. Сравнение вариантов захвата и перемещения лесоматериалов с полупасеки на волок позволяет выделить вариант с перемещением лесоматериала волочением с помощью шарнирно закрепленного на трелевочном механизме захвата с меньшими рисками повреждения элементов леса, причем с наиболее равномерным их распределением по площади лесосеки, вероятность которых для лесоматериала длиной 15 метров и густоте формируемого древостоя 330 дер/га на расстоянии до 1 метра от границы волока составляет 17%, 12%, 4%, и 3% при начальном угле между лесоматериалом и волоком 60° , 45° , 30° и 15° соответственно.

7. Работа полноповоротной ЛЗМ может быть рекомендована по варианту с сочетанием стоянок на смежных лентах в шахматном порядке, при этом отклонения от расчетной ординаты стоянки на расстояние до 3 метров соответствует вероятности оставления не вырубленных деревьев на смежных лентах не более 9%.

8. Вылет манипулятора ЛЗМ при выполнении несплошных рубок главного и промежуточного пользования и селективном изреживании древостоя ограничивается рисками повреждения оставляемых деревьев и составляющими до 10% на расстоянии 8м от волока для рубок главного пользования (густота формируемого древостоя 600 дер/га) при расстоянии

между рабочими позициями 2 м и вылете манипулятора 9м. Формирование насаждения большей густоты при рубках промежуточного пользования при равных характеристиках технологического процесса уменьшит ширину полуленты, с которой возможна вырубка деревьев с риском повреждения оставляемых деревьев не более 10% до 7 и 6,5 м при густоте формируемого древостоя 1100 и 1700 дер/га соответственно.

9. Вероятность беспрепятственной заготовки деревьев однозахватной ВСРМ может быть увеличена разрубкой коридора для укладки обрабатываемых деревьев. Максимальная вероятность беспрепятственной заготовки деревьев со стоянки достигается при угле примыкания коридора к волоку

$$\delta = \arccos \frac{a}{2R}.$$

С уменьшением расстояния между стоянками ЛЗМ вероятность беспрепятственной заготовки дерева увеличивается

10. Анализ математических моделей перемещения ЛЗМ под пологом древостоя позволяют заключить, что 90% вероятность беспрепятственного перемещения в заданном направлении возможна только при густотах насаждения формируемого при рубках главного пользования (< 500 дер/га). Перемещение даже короткомерных лесоматериалов в пределах полупасек при проведении проходных рубок может осуществляться только по коридорам. Допустимый уровень рисков повреждения оставляемых деревьев не выше 10%, при работе ЛЗМ под пологом при проведении всех видов несплошных рубок в условиях Урала, может быть обеспечен только при комбинированном изреживании древостоя с работой ЛЗМ в технологических коридорах.

11. Экспериментальные исследования на имитационных моделях позволили установить, что для фланговых ЛЗМ при сплошных рубках в насаждениях с густотой менее 600 дер/га целесообразно непрямолинейное перемещение вдоль ленты с крутизной маневрирования в пределах возможностей базового шасси. Эффективность маневрирования убывает при этом с увеличением ширины рабочей зоны технологического оборудования ЛЗМ при прочих равных условиях.

12. Предложенные конструкции хворостяного настила и методика расчета напряжений и деформаций в поперечном сечении позволяет прогнозировать процесс колееобразования под действием внешней нагрузки M в различных почвенно-грунтовых условиях, а также судить о достаточности укрепления волока порубочными остатками для вытрелевки заготовленной древесины при условии ограничения степени деформации проезжей части волока до заданного уровня.

13. Предлагаемая методика отбора технологических процессов лесосечных работ с их ранжированием по экологическим, социальным и экономическим критериям позволит достичь наибольшего соответствия реализуемого технологического процесса природо-производственным условиям Уральского региона за счет более эффективного сохранения лесной среды

при выполнении рубок.

14. Разработанные экономико-математические модели позволяют оценивать риск возникновения ущерба в результате отклонения от оптимальных параметров рубок, а также рекомендовать организационно-технические мероприятия по его снижению.

15. Результаты исследований внедрены в учебный процесс, а также в производственный процесс ряда предприятий Уральского региона. Акты внедрения приведены в приложении.

16. На основании изложенного может быть рекомендована последовательность принятия решения при выборе оборудования и исполнителей для выборочной валки деревьев с заданными таксационными характеристиками, а также метода изреживания древостоя:

- Проводится опытная валка в древостое с известными таксационными характеристиками. На основании полученной выборки рассчитываются среднее значение отклонения от заданного угла валки, а также его среднеквадратическое отклонение.

- Определяется интервал, который с надежностью 90% покрывает среднее значение отклонения от заданного направления валки.

- Рассчитывается вероятность соударения деревьев, характеризующая степень точности валки дерева исполнителем с применением конкретного оборудования и надежности попадания β в интервал

$$P_{\beta} = \alpha e^{-\frac{h^2 \lg \beta}{S_d}}$$

Полученные результаты для рассматриваемых вариантов валочного оборудования и вальщиков различной квалификации наряду с другой производственной информацией используются при выборе средств и исполнителя для выполнения работ.

Основные результаты изложены в следующих работах

Материалы диссертации опубликованы в 44 научных работах, в том числе:

1. Герц Э.Ф. Оценка технологии лесопользования на лесосечных работах. - Екатеринбург, 2003. - 119с.
2. Азаренок В.А., Герц Э.Ф., Мехренцев А.В. Сортиментная заготовка леса. Учебное пособие. Уральская государственная лесотехническая академия, Екатеринбург, 2000. - 129с.
3. Жуков А.В., Федоренчик А.С., Азаренок В.А., Мехренцев А.В., Герц Э.Ф. Современные лесозаготовки. Техника и технологии Учебное пособие. Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, 2004. - 114с.
4. Герц Э.Ф., Гирев Г.М., Годовалов Г.А., Залесов С.В., Карандашов А.И., Лившиц Н.В., Мезенова В.В., Сотонин С.Н. Временные рекомендации по рубкам главного и промежуточного пользования в лесах Урала с

применением многооперационных колесных машин и сортиментной технологии (для опытно-производственной проверки) Свердловск, 1993. - 46с.

5. Азаренок В.А., Герц Э.Ф., Годовалов Г.А., Залесов С.В., Лившиц Н.В., Луганский Н.А., Мехренцев А.В., Сотонин С.Н. Рекомендации по рубкам главного и промежуточного пользования в лесах Урала и Западной Сибири с заготовкой сортиментов многооперационными машинами (для опытно-производственной проверки) Екатеринбург, 2000. - 31с.

6. Азаренок В.А., Герц Э.Ф., Залесов С.В., Лившиц Н.В., Луганский Н.А., Мехренцев А.В., Усольцев В.А., Безгина Ю.Н. Рекомендации по рубкам главного и промежуточного пользования (в развитие и дополнение действующих наставлений). Екатеринбург, 2002. - 41с.

Статьи в зарубежных и реферируемых изданиях

7. Luthy C., Gerz E. Zange oder Seilwinde? "Wald und Holz", №1.15/94. s. 22-25.

8. Герц Э.Ф. Использование имитационных моделей полноповоротных лесозаготовительных машин для решения технологических задач Известия высших учебных заведений «Лесной журнал», №4-5, 1996, С. 87-90.

9. Герц Э.Ф., Азаренок В.А., Лившиц Н.В., Мехренцев А.В. К вопросу о целесообразности применения операции подтрелевки при несплошных рубках Известия высших учебных заведений «Лесной журнал», №3, 2002. С. 45-48.

10. Герц Э.Ф., Азаренок В.А., Лившиц Н.В., Мехренцев А.В. Расчет ширины ленты, разрабатываемой манипуляторной полноповоротной лесозаготовительной машиной с учетом досягаемости деревьев Известия высших учебных заведений «Лесной журнал», №5, 2002. С. 47-52.

11. Герц Э.Ф., Залесов С.В. Повышение лесоводственной эффективности несплошных рубок путем оптимизации валки назначенных в рубку деревьев «Лесное хозяйство», №5, 2003. С. 18-20.

12. Герц Э.Ф. Лесоводственные аспекты технологии лесосечных работ на Урале «Лесная промышленность», №2, 2002. С. 21-24.

13. Герц Э.Ф. Математическая модель вероятности повреждения растительных элементов леса в процессе трелевки при различных способах захвата лесоматериалов «Лесной вестник», №5(30), 2003. С. 179-186.

14. Герц Э.Ф. Математическая модель выбора маршрута перемещения лесозаготовительных машин «Лесной вестник», №1(32), 2004. С. 78-82

15. Герц Э.Ф. Теоретические основы расчета многослойного хвостяного настила для укрепления волока «Лесной вестник», №1(32), 2004. С. 82-87

16. Герц Э.Ф. Вероятность повреждения деревьев в процессе трелески при несплошных рубках «Лесная промышленность», №2, 2004. С. 13-14.

17. Мехренцев А.В., Герц Э.Ф., Шаньгин А.В. Особенности транспортных систем для трелески сортиментов «Лесная промышленность», №1, 2004. С. 10-12.

18.Ширнин Ю.А., Герц Э.Ф. Стохастическое моделирование валки деревьев при сплошных рубках Известия высших учебных заведений «Лесной журнал», №1, 2004. С. 39-45.

19.Лысов Л.А., Азаренок В.А., Безгина Ю.Н., Герц Э.Ф., Залесов С.В., Казанцев С.Г., Мехренцев А.В. Возрастная структура и строение березовых древостоев среднего Урала «Лесное хозяйство», №4, 2004. С. 14-15.

20.А.с. 1821091 СССР М.Кл. А016 23/02 Способ разработки лесосеки при сплошных рубках/ Герц Э.Ф., Лившиц Н.В., Мартемьянов В.С., Азаренок В.А.

21.А.с. 1717009 СССР М.Кл. А016 23/02 Способ рубки пасечных лесов манипуляторными валочно-трелевочными машинами/ Герц Э.Ф., Вилисов А.Б., Злобин А.М., Сотонин С.Н., Лившиц Н.В.

22.Бит Ю.А., Герц Э.Ф. Низкобонитетные леса Ленинградской области Библиографический указатель. депон. науч. работы М., ВИНТИ, №2, 1988. С.134

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями просим направлять по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, Ученый совет УГЛТУ

Уральский государственный лесотехнический университет

Отдел оперативной полиграфии

Заказ № 565 Тираж 130 экз. Подписано в печать 04.11.04