

на правах рукописи



Свойкин Федор Владимирович

**«Совершенствование технологического процесса лесозаготовок в условиях
Северо-Западного федерального округа Российской Федерации»**

05.21.01 – Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург
2018 г.

Работа выполнена на кафедре технологических процессов и машин лесного комплекса Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова».

Научный руководитель: **Бирман Алексей Романович**, доктор технических наук, профессор.

Официальные оппоненты: **Шоль Николай Рихардович**, кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры инжиниринга технологических машин и оборудования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ухтинский государственный технический университет».

Карпачев Сергей Петрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры промышленного транспорта и строительства (ЛТ8) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мытищинский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана».

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова».

Защита диссертации состоится 08 июня 2018 г. в 9 часов на заседании диссертационного совета Д212.220.03 на базе ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова» (194021, г. Санкт-Петербург, Институтский пер. 5, литера У, зал заседаний ученого совета).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «СПбГЛТУ имени С.М. Кирова»: <http://spbftu.ru/dissertatsionnye-sovety-po-spetsialnostyam/d-212-220-03/zashhity-dissertatsij/>

Автореферат разослан «__» марта 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Бирман Алексей Романович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Северо-Западный федеральный округ Российской Федерации (СЗФО РФ) обладает значительными (около 5 млрд. м³) запасами спелых и перестойных насаждений. Большая часть запаса находится на территориях, освоение которых затруднено из-за почвенно-грунтовых и рельефных условий (территории с переувлажненными и заболоченными почвогрунтами).

Система машин для лесосечных работ на базе трелевочного трактора и валочно-пакетирующей машины или валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины (ВСРМ) и колесного сортиментоподборщика («харвестер + форвардер») имеет значительную массу, наносит экологический ущерб почвогрунту и не обеспечивает надежного решения задачи по освоению труднодоступных лесосек. Вертолетная трелевка, в свою очередь, имеет массу достоинств – минимальное воздействие на почву, высокая производительность, нет потребности в развитой дорожной сети, но и недостатков у нее не меньше.

Непригодность применяемых на практике технических решений при разработке лесосек на грунтах со слабой несущей способностью вынуждает искать альтернативные пути решения задачи трелевки и вывозки древесного сырья с лесосек.

Учитывая отсутствие вывозки древесины в период весенней и осенней «распутицы», проблема обоснования оптимальных технологических процессов лесозаготовок с целью увеличения заготовки и вывозки древесины с труднодоступных лесосек – одна из приоритетных задач развития ЛПК СЗФО РФ.

По результатам исследований ученых было выявлено, что разрушение почвы при лесозаготовительных работах приводит к водной и ветровой эрозии почв, формированию заболоченности, усыханию деревьев, оставленных на корню, смене пород на менее ценные (мягколиственные).

Одним из вариантов вывозки древесины из лесосек с переувлажненными и заболоченными грунтами является применение различных канатных установок, отличающихся слабым воздействием на почвогрунты лесосеки. Технические решения на основе канатно-трелевочных установок (КТУ) могут гарантировать необходимые условия для заготовки древесного сырья и обеспечение экологического фактора путем сохранения живого напочвенного покрова, являющегося основой всего лесного фитоценоза.

Степень разработанности темы исследования. В настоящее время в теории лесозаготовительного производства технологии трелевки при помощи трелевочных тракторов, колесных сортиментоподборщиков, канатных установок освещены весьма подробно, но стоит провести дополнительные исследования, направленные на транспортировку древесины с лесосек на грунтах со слабой несущей способностью.

Прогнозирование лесосечных работ на лесосеках, исходя из конкретных природно-производственных условий и экологических требований с применением КТУ, исследовано слабо, точных сведений об их применении в литературе не приводится.

Цель работы: усовершенствование технологического процесса лесозаготовок путем использования мобильных канатно-рельсовых трелевочных установок в условиях СЗФО РФ.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие **задачи исследования:**

1. Провести анализ научных исследований в области повышения эффективности технологических процессов лесозаготовок на лесных территориях с грунтами со слабой несущей способностью.
2. Разработать рекомендации для совершенствования технологии лесозаготовок на территориях с переувлажненными и заболоченными почвогрунтами.
3. Разработать математическую модель процесса уплотнения лесной почвы при полуподвесной трелевке древесины с составлением программы в среде AIMMS.
4. Разработать стохастическую математическую модель оптимизации затрат для разработки лесосек при применении технологии трелевки с помощью канатно-трелевочной установки (КТУ) и мобильной канатно-рельсовой трелевочной установки (МКРТУ).
5. Разработать рекомендации по использованию технологии трелевки древесины МКРТУ.
6. Разработать конструктивно-компоновочные предложения для изготовления МКРТУ.

Научная новизна:

1. Теоретически обоснована математическая модель процесса уплотнения лесной почвы при полуподвесной трелевке, отличающаяся возможностью определения параметров процесса с помощью программы в среде AIMMS.
2. Аналитически обоснованы критерии оценки эффективности процесса трелевки древесины, позволяющие определить режимы технологического процесса, параметры оборудования и являющиеся основой для экономических расчетов, путем использования разработанной стохастической модели оптимизации затрат при трелевке МКРТУ.
3. Сформулированы рекомендации, совершенствующие технологию лесозаготовок на территориях с переувлажненными и заболоченными почвогрунтами.
4. Разработаны конструктивно-компоновочные предложения по изготовлению МКРТУ, защищенные патентом на изобретение.

Теоретическая значимость заключается в:

1. Развитии теории процессов трелевки древесины на лесных территориях с грунтами, обладающими слабой несущей способностью.
2. Разработке математической модели процесса уплотнения лесной почвы, учитывающей способ трелевки и позволяющей определить параметры процесса в программе AIMMS.

3. Создании математической модели оптимизации затрат при применении технологии трелевки с помощью канатных установок.

Практическая значимость.

1. Разработаны рекомендации по совершенствованию технологий трелевки древесины на территориях с переувлажненными и заболоченными почвогрунтами.
2. Разработана конструкция МКРТУ и технология ее применения в условиях СЗФО РФ. Способ и конструкция МКРТУ защищены патентами. Результаты реализации математической модели позволяют на практике определять значения объема заготовки древесины с учетом конкретных природно-производственных условий, а также прогнозировать объемы заготовок.

Методология и методы исследования. Исследования производительности лесных машин базировались на принципах системного подхода с использованием обоснованных методов и методик научного поиска, современного научного проникновения, применения современных методов исследований с использованием поверенного оборудования, приборов и средств контроля. Информационную базу исследования составляют материалы научных исследований, учебная и методическая литература, материалы периодических изданий, патентная информация, сведения из сети Интернет.

При написании работы наибольшее внимание уделялось трудам учёных в области исследования и совершенствования процесса трелевки древесины, оптимизации технологических процессов лесосечных работ: В.А. Александрова, В.Н. Андреева, Г.М. Анисимова, Ю.А. Бита, Г.К. Виногорова, И.В. Григорьева, В.А. Иванова, А.А. Камусина, С.П. Карпачева, В.А. Макуева, А.П. Матвейко, А.В. Мехренцева, В.И. Пятакина, И.Р. Шегельмана, Ю.А. Ширнина, Н.Р. Шоля.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Рекомендации по применению мобильных канатно-рельсовых трелевочных установок.
2. Математическая модель оценки технологических процессов лесозаготовок (определения объема заготовки древесины) с учетом условий риска и неопределенности.
3. Математическая модель уплотнения почвогрунта при организации трелевки с помощью МКРТУ.

Достоверность выводов и результатов исследования обеспечивается применением в качестве основополагающих разработок труды признанных ученых в области лесозаготовительного производства, применением современных вычислительных средств и лицензионного программного обеспечения при проведении теоретических исследований и обработке экспериментальных данных, удовлетворительной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Апробация работы. Основные результаты исследований докладывались и обсуждались на ежегодных НТК СПбГЛТУ, ежегодных НТК Лесоинженерного

факультета, Международной научно–технической конференции «Леса России в XXI веке», «Актуальные проблемы экологии и природопользования» РУДН (Москва, 2011), «Опыт лесопользования в условиях СЗ РФ и Фенноскандии» (Петрозаводск, 2011), «Исследования молодежи – экономике, производству, образованию» (Сыктывкар, 2011), на XXIII Международной молодежной конференции «Севергеоэкотех 2012» (Ухта, 2012), Международной научной конференции «Sprungbrett» – Internationale Studierendenkonferenz (Швейцария, 2012), X Всероссийской научно–технической конференции «Проблемы и достижения автотранспортного комплекса» (Екатеринбург, 2012), Международной научно–технической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса» (Кострома, 2012), Международной научно–технической конференции «Актуальные проблемы развития лесного комплекса» (Вологда, 2014).

Публикации. По результатам исследований опубликованы 32 печатные работы, в том числе 5 статей в журналах, рецензируемых ВАК РФ, и 2 патента.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав основного текста, общих выводов и рекомендаций, библиографического списка и 5 приложений на 38 страницах. Диссертационная работа включает в себя 109 страниц основного текста, 49 рисунков, 10 таблиц. Список литературы содержит 142 источника.

Реализация работы. Предполагается использование результатов исследований при организации и проведении лесосечных работ в природно-производственных условиях арендной базы АО «Монди СЛПК», АО «Группа «Илим», ООО «Метса Форест Подпорожье».

Соответствие темы и содержания диссертации требованиям паспорта специальности ВАК. Тема и содержание диссертационной работы соответствует пунктам 3, 4, 5, 6, 7 паспорта научной специальности 05.21.01 «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства».

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности темы диссертации, определена цель исследований, отмечена научная новизна и практическая ценность работы.

В первой главе выполнен анализ состояния процессов лесозаготовки в условиях СЗФО РФ, обозначены технологии разработки лесосек с КТУ, их достоинства и недостатки.

Анализ известных технических решений показал, что одним из основных недостатков применения канатных установок на трелевке являются значительные трудозатраты на обслуживание мачт и канатной оснастки, а также на их оперативное перемещение с пасеки на пасеку. Это особенно касается заболоченных и переувлажненных лесосек, которые имеют малые запасы леса и небольшие площади.

Для подвозки древесины от подножья горных лесосек к лесовозным доро-

гам в середине прошлого века успешно применялись канатно-рельсовые дороги (КРД). Подобные канатно-рельсовые трелевочные установки включают: рельсовый путь, канатную оснастку, лебедку.

Однако установки, предназначенные для работы в условиях горного рельефа, имеющего большое количество поворотов и разных по величине уклонов, не могут быть приспособлены к обработке заболоченных и переувлажненных лесосек. Кроме того, имеет место сложность развертывания и дороговизна обслуживания, а также высокий износ канатов, привязанность к конечным пунктам пути транспортировки, низкая производительность, использование большого числа обслуживающего персонала.

Техническая задача состоит в создании такой канатно-рельсовой трелевочной установки, которая обеспечит повышение эффективности проведения лесосечных работ в условиях заболоченных и переувлажненных лесосек, что не достигнуто при применении ранее известных технических решений.

Установлено, что выбор технологии лесосечных работ, комплекта машин и последовательности выполнения технологических операций основывается на характеристике почвенных условий и сезоне лесозаготовок.

Далее в главе дан анализ технологии заготовки древесины с применением канатно-трелевочных установок, оказывающих наименьшее вредное влияние на почвогрунты.

Во второй главе составлена математическая модель, позволяющая прогнозировать уплотнение лесной почвы при полуподвесной трелевке, в зависимости от параметров пачки лесоматериалов и высоты головной мачты канатной трелевочной установки. Расчетная схема представлена на рисунке 1.

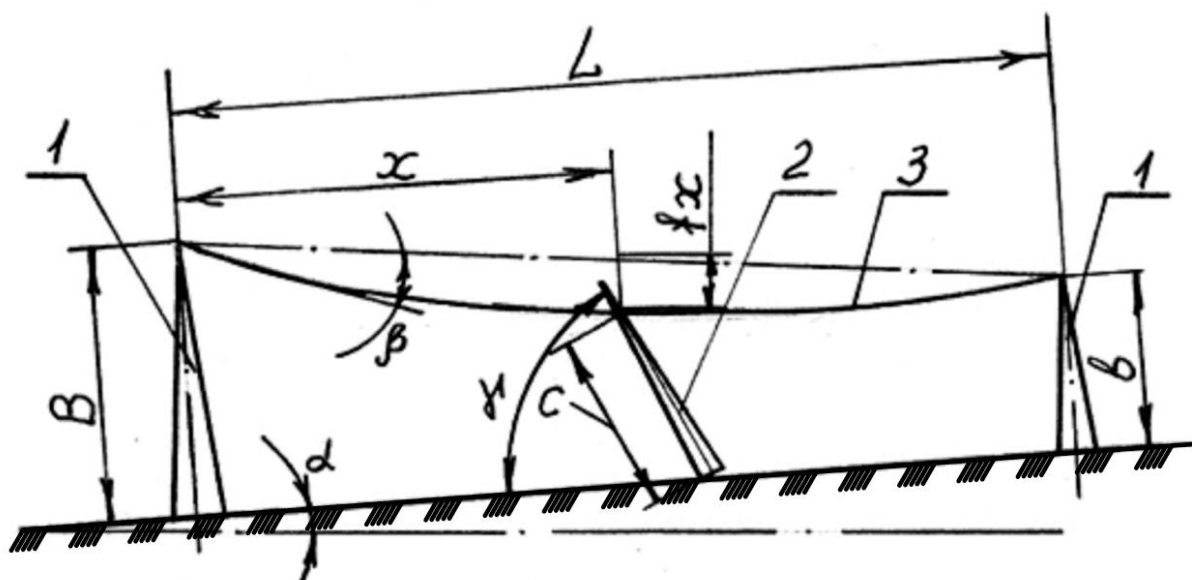


Рисунок 1. Расчетная схема трелевки:

1 – мачты; 2 – трелеваемый хлыст/пачка; 3 – несущий канат

Для определения высоты мачты используем формулу:

$$B = \left(G + \frac{2 \cdot L \cdot q_k}{\cos \beta} \right) \cdot \frac{L}{4 \cdot T_{\max}} - b - l_n \cdot \operatorname{tg} \alpha + 2 \cdot c, \quad (1)$$

где B – высота головной мачты, м; L – длина хорды канатов, м; l_n – длина погружной площадки, м; b – высота тыловой мачты, м; G – грузоподъемность канатов, кН; q_k – распределенная нагрузка от собственного веса тягово-несущего каната, кН/м; β – угол наклона хорды, рад; c – расстояние от пачки деревьев до поверхности склона, 0.5 м; α – угол наклона лесосеки, рад; T_{\max} – наибольшее натяжение в ветвях тягово-несущего каната, кН.

$$T_{\max} = \left(G + \frac{2 \cdot L \cdot q_k}{\cos \beta} \right) \cdot \left(1 - \frac{x}{L} \right) \cdot \frac{x}{2f_x}, \quad (2)$$

где x – координата приложения нагрузки, м; f_x – стрела провеса каната, м.

$$f_x = \frac{(B + l_n \cdot \operatorname{tg} \alpha) \cdot (L - x) + x \cdot b}{L} - c. \quad (3)$$

Наибольшее значение f_x достигает при:

$$x = \frac{L}{2}. \quad (4)$$

Средний угол наклона пачки определяется по выражению:

$$\alpha_{\text{сред}} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{r \cdot B}{L} \cdot \sqrt{1 + \frac{2 \cdot B}{L} \cdot \sin \gamma + \left(\frac{B}{L} \right)^2} \pm \gamma, \quad (5)$$

где γ – угол наклона поверхности движения; r – параметр, $r = \{1, 3\}$.

Максимальная глубина погружения комлевой части пачки в почву составит:

$$\Delta = \frac{\pi \cdot r \cdot h \cdot l_k}{2 \cdot l}, \quad (6)$$

где l – длина пачки, м; h – высота подъема пачки при трелевке, м.

На основании математической модели была написана программа в среде AIMMS.

В третьей главе предлагается техническое решение по созданию МКРТУ, позволяющее использовать достоинства канатно-рельсовых дорог для трелевки древесины в условиях заболоченных и переувлажненных лесосек.

Принцип работы установки: автомобиль подъезжает к месту, далее которого тракторная трелевка невозможна. Компоновка установки: автомобиль и бункер. В бункере, изображенном на рисунке 2, находится технологическое оборудование для трелевки.

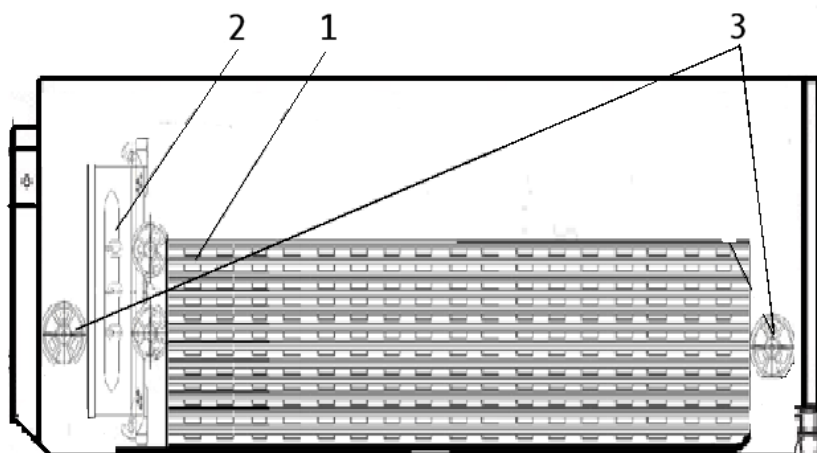


Рисунок 2. Содержимое бункера:

- 1 – секции рельсового пути; 2 – каретки (транспортное положение);
- 3 – лебедки для перемещения каретки, монтажа и сбора рельс
(в «голове» бункера стационарная, в «хвосте» – передвижная лебедка)

После спуска бункера на землю из него выдвигаются рельсы. Модули рельс соединяются между собой магнитными креплениями. Затем происходит монтаж рельс посредством лебедки с образованием рельсового пути длиной до 100 м (рисунок 3).

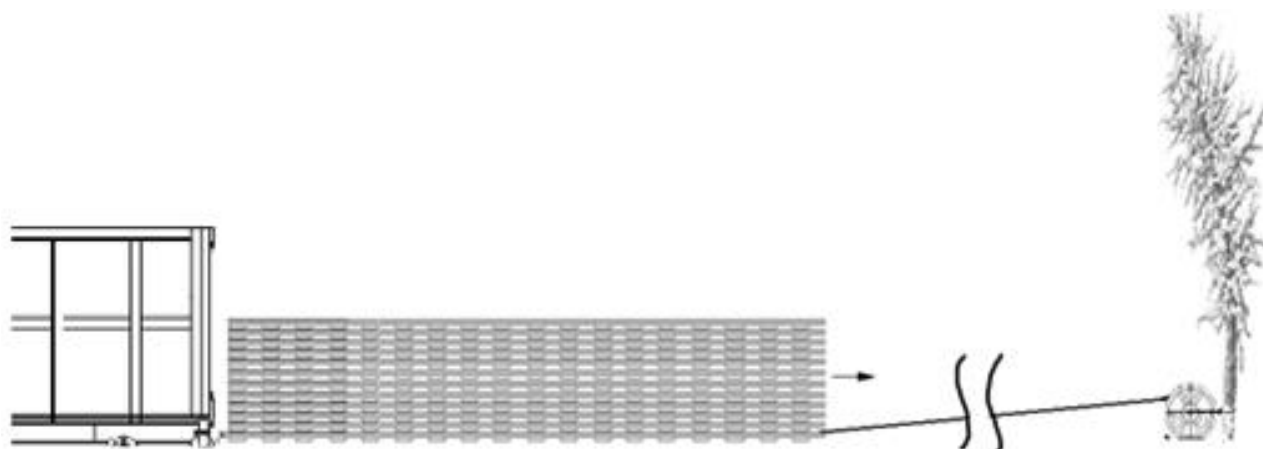


Рисунок 3.Образование рельсового пути

Предлагаемая установка работает следующим образом (рисунок 4): по сборно-разборной канатно-рельсовой дороге перемещается одна каретка, оборудованная чокерными канатами, осуществляющими подтягивание и транспортировку хлыстов к месту разделки.

Более совершенной является схема с применением двух кареток, когда по сборно-разборной канатно-рельсовой дороге 1 перемещаются две каретки 2, приводимые в движение лебедками (рисунок 5). Каретки останавливаются у места набора пачки хлыстов (деревьев), откидываются подвижные стойки 3 со стороны набора пачки, осуществляется набор пачки путем зацепления хлыстов канатом 4 (рисунки 6-7). Фиксируются коники в транспортном положении (рисунок 8) и каретки с пачкой хлыстов перемещаются к месту разгрузки (рисунок 9).

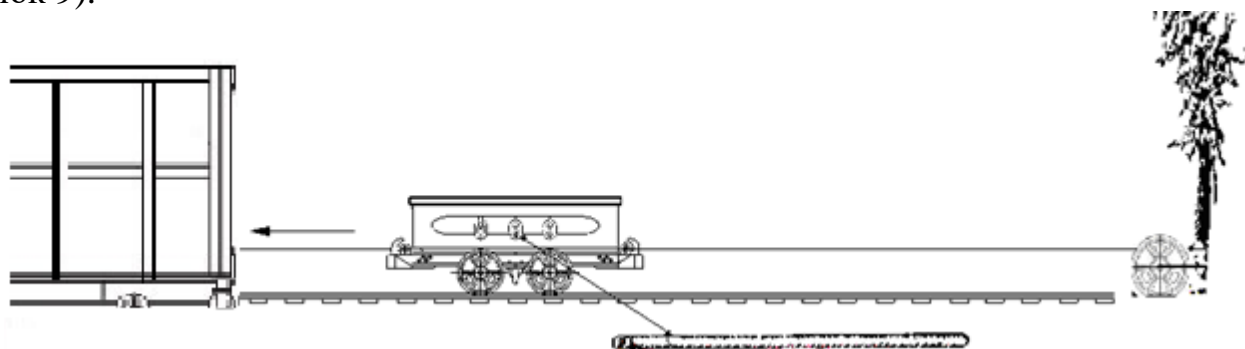


Рисунок 4. Подтаскивание хлыста к автомобилю

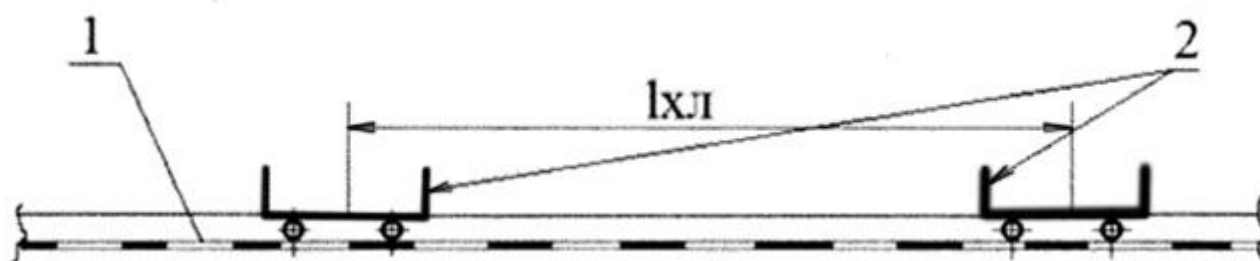


Рисунок 5. Общий вид рельсовой дороги:

1 – рельсовый путь; 2 – две каретки

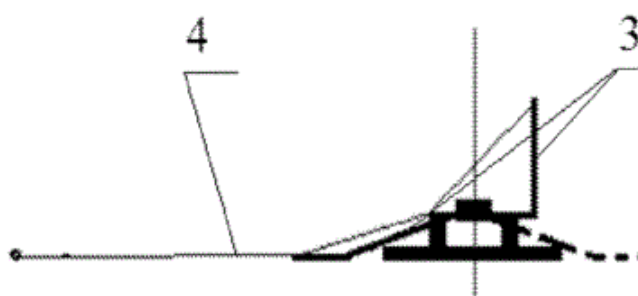


Рисунок 6. Рабочее положение устройства:

3 – подвижные стойки; 4 – канат

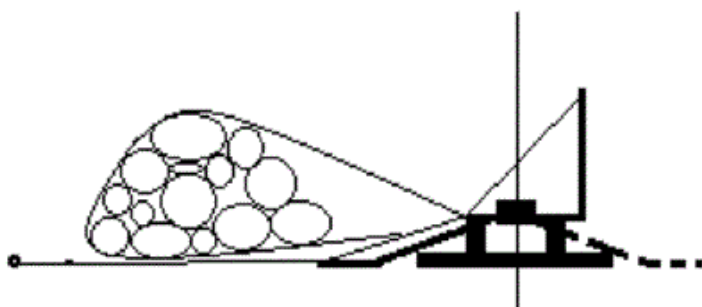


Рисунок 7. Набор пачки

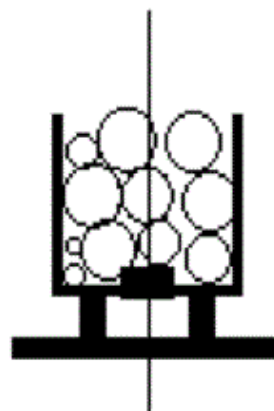


Рисунок 8. Транспортное положение установки (вид спереди)

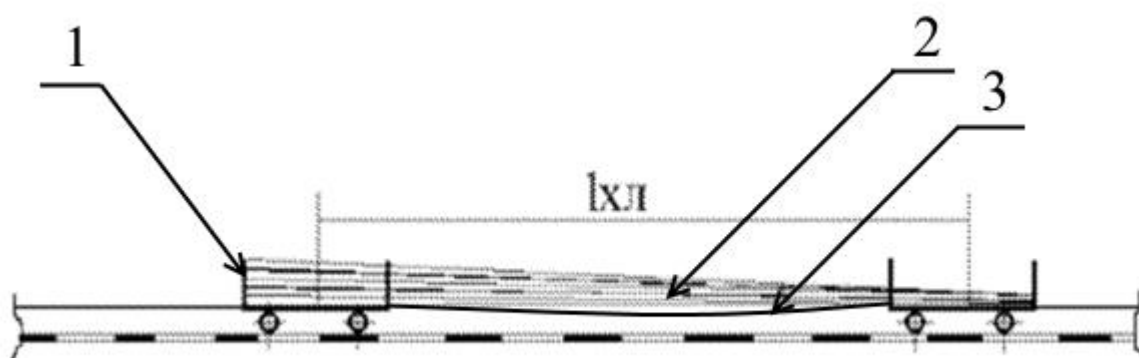


Рисунок 9. Транспортное положение установки (вид сбоку):

1 – лебедка; 2 – канат, связывающий две каретки;

3 – пачка/хлыст

Предложенная конструкция с использованием двух кареток позволяет повысить эффективность работы мобильной канатно-рельсовой трелевочной установки за счет усовершенствования механизма погрузки-разгрузки хлыстов (деревьев).

Также следует учесть такой фактор, как давление на почву и ее повреждение. Основным преимуществом канатных трелевочных установок перед колесными сортиментоподборщиками является незначительный вред, наносимый почве. Давление на почву возрастает по мере приближения кареток с пачкой хлыстов к месту разгрузки.

Сформулируем математическую модель уплотнения грунта под воздействием МКРТУ, а также составим программу в среде AIMMS (рисунок 10).

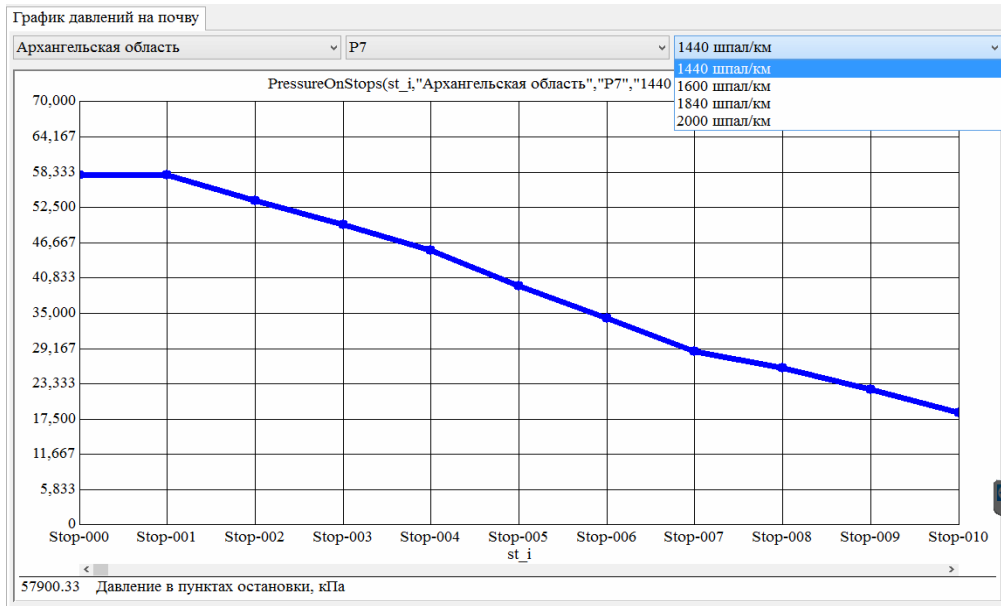


Рисунок 10. Результаты расчета программы

Рассмотрим **множества** исходных данных (часть множеств приведена на рисунке 10):

S – множество остановок каретки, обозначим индексом st , в примере – через каждый метр;

S' – порядок расположения остановок каретки S , задается матрицей вида:

$$S' = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

P – множество пород древесины, обозначим индексом sp , в примере – сосна, осина, ель, береза, лиственница;

Rt – множество типов рельс, rt ;

Sc – частота укладки шпал, ss ;

R – множество регионов СЗФО РФ, r .

Приведем **параметры**, необходимые для расчета:

$V_{st,sp}^{stop}$ – объем древесины породы sp на остановке st , m^3 , $V_{st,sp}^{stop} \geq 0$;

V_{max} – максимальный объем древесины, помещающийся на каретку, m^3 , $V_{max} > 0, 1.5$;

ρ_{sp} – плотность древесины породы sp , kg/m^3 ;

$V_{ср.хл}$ – средний объем хлыста, m^3 , $V_{ср.хл} > 0$;

m_k – масса каретки, kg , $m_k > 0$, $m_k = 300$ kg ;

$m_{sp}^{хл}$ – масса хлыста породы sp , kg , $m_{sp}^{хл} > 0$:

$$m_{sp}^{хл} = \rho_{sp} \cdot V_{ср.хл}. \quad (8)$$

m_{sp}^{full} – полная нагрузка рейса от остановки до разгрузочного пункта и обратно с хлыстом породы sp , kg , $m_{sp}^{full} \geq 0$:

$$m_{sp}^{full} = 2 \cdot m_k + m_{sp}^{хл}. \quad (9)$$

n_{st} – число рейсов от остановки st до пункта разгрузки, $n = \{0, \infty\}$:

$$n_{st} = \frac{V_{st,sp}^{stop}}{V_{max}}. \quad (10)$$

l_{st} – расстояние от остановки st до пункта разгрузки, м, $l_{st} \geq 0$;

Q_{st} – давление на грунт на остановке st , кПа, $Q_{st} \geq 0$:

$$Q_{st} = \sum_{st=1}^{s'} \left(n_{st} \cdot l_{st} \cdot m_{sp}^{full} \cdot \frac{9.81}{1000} \right). \quad (11)$$

В целом, МКРТУ представляет собой промежуточное решение между колесным сортиментоподборщиком и канатно-трелевочной установкой, применяемое в тех условиях, где обеспечение полноценной работы колесного сортиментоподборщика требует излишних затрат на подготовительные работы, а применение КТУ – неэффективно.

На основании предложенной системы представим схемы технологического процесса разработки труднодоступных лесосек (рисунки 11-12):

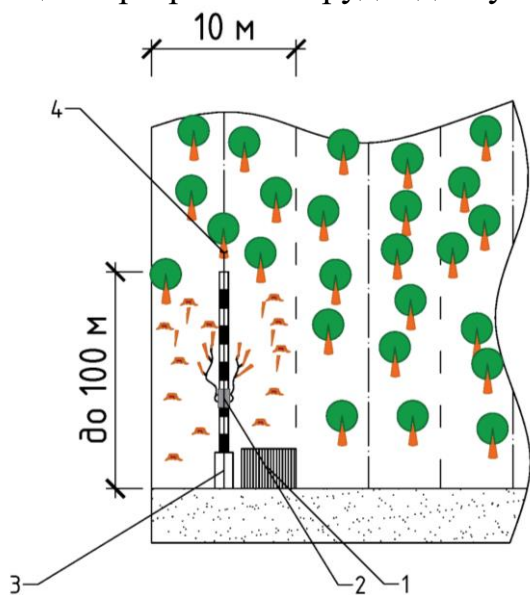


Рисунок 11. Схема разработки труднодоступных лесосек МКРТУ с одной кареткой:

1 – штабель раскряжеванных сортиментов у бункера; 2 – каретка, трелью хлысты/сортименты; 3 – бункер; 4 – опорное дерево

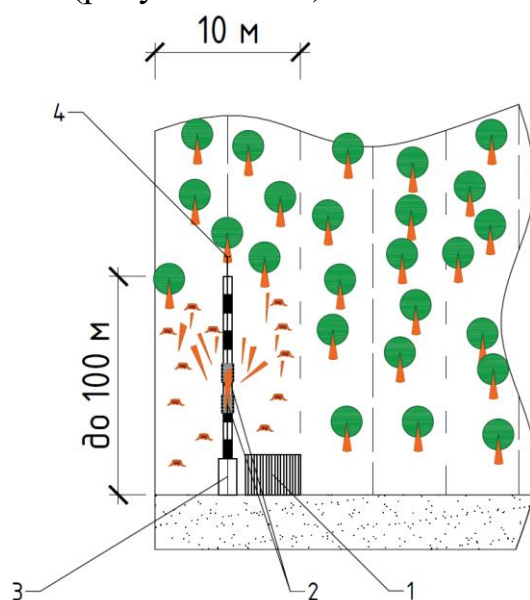


Рисунок 12. Схема разработки труднодоступных лесосек МКРТУ с двумя каретками:

1 – штабель раскряжеванных сортиментов у бункера; 2 – две каретки, трелью хлысты/сортименты; 3 – бункер; 4 – опорное дерево

На рисунке 13 представлена комплексная схема освоения труднодоступных лесосек. Первичная транспортировка древесины осуществляется по канатно-рельсовой дороге. Затем у бункера происходит раскряжевка хлыстов бензомоторной пилой. Колесным сортиментоподборщиком производится погрузка и транспортировка сортиментов к месту погрузки на автопоезда. До лесопогрузочного пункта хлысты доставляются трелевочным трактором с пачковым захватом.

МКРТУ можно рекомендовать для организаций, основной деятельностью которых не является лесозаготовка – энергетикам, газовикам, нефтяникам при прокладке инженерных коммуникаций, а также для лесозаготовительных организаций при разведке лесосырьевой базы на лесосеках с грунтами с низкой несущей способностью.

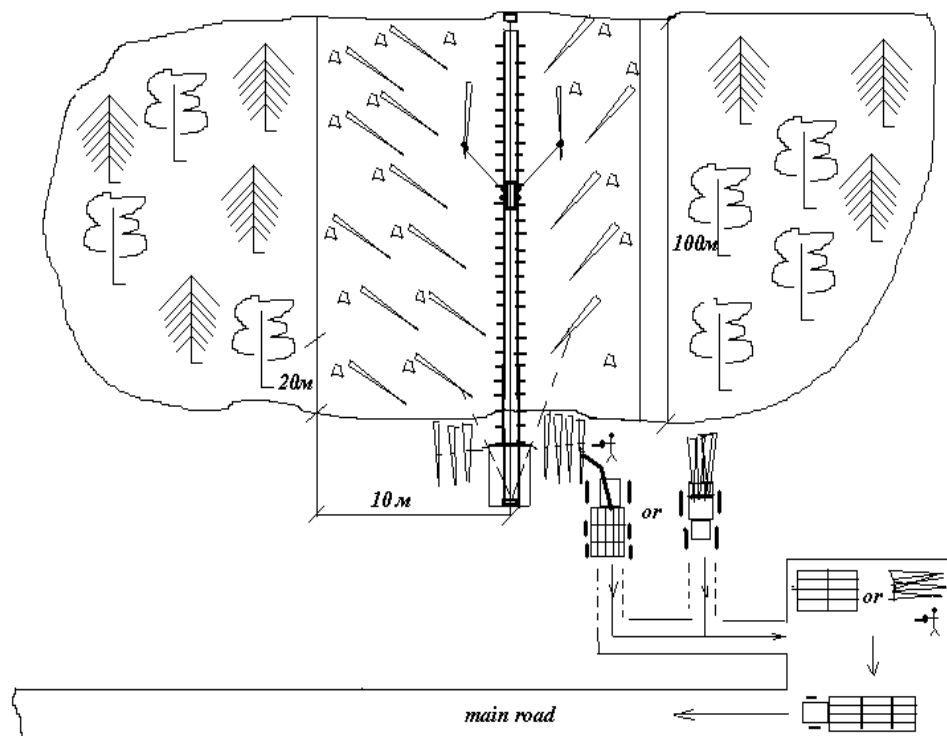


Рисунок 13. Комплексная схема освоения труднодоступных лесосек МКРТУ

Состав обслуживающего персонала МКРТУ: водитель (он же помощник вальщика и чокеровщика) – 1 (категория С), чокеровщик – 1, вальщик – 1.

Часовой объем заготовки систем на базе мобильной канатно-рельсовой трелевочной установки ($Q_{\text{ч}}$) составляет $7.4 \text{ м}^3/\text{ч}$ при среднем объеме хлыста ($V_{\text{хл}}$) равном 0.4 м^3 , сменный объем заготовки ($Q_{\text{см}}$) составляет $52 \text{ м}^3/\text{смена}$ (продолжительность смены ($T_{\text{см}} = 7 \text{ ч}$) при $V_{\text{хл}} = 0.4 \text{ м}^3$).

Для сравнения производительность труда на канатной трелевке с валкой леса бензопилами с подтаскиванием и трелевкой хлыстов канатной мачтовой установкой фирмы Larix (Чехия) при объеме хлыста $V_{\text{хл}} = 0.4 \text{ м}^3$: $Q_{\text{ч}} = 6 \text{ м}^3/\text{ч}$, $Q_{\text{см}} = 40 \text{ м}^3/\text{ч}$ (данные производителя – фирмы Larix).

В четвертой главе представлены методы проведения экспериментов и их обработки, перечень применяемого оборудования и приборов, методов и средств измерения.

Разработана стохастическая математическая модель оптимизации затрат при разработке лесосек и проведен эксперимент для получения исходных данных модели.

При использовании Баейсовского подхода, все параметры считаются случайными, и математическая модель имеет две стадии: первую, описывающую предварительную информацию о неизвестных параметрах с неким вероятностным распределением и вторую, описывающую функции правдоподобия наблюдаемых значений.

При использовании подхода, связанного с использованием критерия Минимакс, альтернативы оцениваются по последствиям.

В разработке математической модели применялся второй подход. Однако следует понимать, что каждый способ имеет свои достоинства и недостатки. Так, например, использование детерминированного подхода к анализу и принятие неизвестных параметров на основании экспертной оценки дает значительный запас «прочности» модели, но влечет за собой большие затраты там, где их можно было избежать.

Предлагаемая математическая модель использует методы стохастического программирования, в частности – метод сведения целевой функции со случайными параметрами к вероятностным ограничениям. При недостаточном уровне объема заготовки до нормального объема заготовки возникают потери, связанные с появившимся дефицитом (нехваткой) объема заготовки. При уровне объема заготовки древесины, превышающего нормальный, происходит увеличение издержек (потерь), связанных с содержанием лесной машины. Возможный компромисс состоит в выборе такого нормативного объема заготовки древесины, который уравнивал бы два вида указанных потерь. Целевая функция модели представлена формулой (12).

$$Z = M(Q) = \int_{-\infty}^{+\infty} Q(x) \cdot f(x) dx =$$

$$= \int_t^{\infty} q_1(t-x) f(x) dx + \int_{-\infty}^t q_2(x-t) f(x) dx \rightarrow \min$$
(12)

где Z – целевая функция; $M(Q)$ – целевая функция от объема заготовки древесины; $Q(x)$ – уровень объема заготовки древесины, при котором потери объема древесины наименьшие, м³; $f(x)$ – плотность распределения; q_1 – коэффициент увеличения объема заготовки; t – нормативный объем заготовки древесины, который уравнивается двумя видами потерь (дефицита и избытка), м³; q_2 – коэффициент уменьшения объема заготовки; x – величина объема заготовки древесины, м³.

Оптимальный объем заготовки древесины t_{on} определяется из формулы (13).

$$\frac{1}{2} + \Phi_{(x)}\left(\frac{t_{on} - m}{\sigma}\right) = \frac{q_1}{q_1 + q_2}, \quad (13)$$

где t_{on} – оптимальный объем заготовки древесины, м³; $\Phi_{(x)}$ – функция Лапласа; m – математическое ожидание заготовки древесины, м³; σ – среднее квадратичное отклонение объема заготовки древесины, м³; q_1 – коэффициент увеличения объема заготовки; q_2 – коэффициент уменьшения объема заготовки.

Назначая предельные значения А и В, а также доверительные вероятности α и β , получим доверительный интервал (формула 14):

$$t_{деф} \leq t_{on} \leq t_{изб}, \quad (14)$$

где $t_{деф}$ – недостаточный уровень объема заготовки, м³; $t_{изб}$ – избыточный уровень объема заготовки, м³; t_{on} – оптимальный объем заготовки, м³.

Для получения математического ожидания заготовленного объема древесины m был поставлен эксперимент в производственных условиях АО «Монди СЛПК», в квартале №382 Куратовского участкового лесничества Сылпольского района Республики Коми, в средней тайге. Исследования проводились в смешанном елово-березовом лесу (породный состав 4Е4Б1С1П), тип леса – черничный, при работе ВРСМ John Deere 1270Е.

Анализировались файлы раскрывки STM системы TimberMatic Н-09. Определялись параметры стоянки ВРСМ, время начала обработки дерева, объем заготовленной древесины, продолжительность работы ВРСМ. В результате эксперимента, были установлены следующие значения параметров:

1. Средний объем хлыста $V_{cp} = 0.2 - 0.4$ м³.
2. Максимальный объем заготовки $Q_{max} = 22.5 - 45$ м³/ч.
3. Минимальный объем заготовки $Q_{min} = 4.5 - 9$ м³/ч.
4. Математическое ожидание объема заготовки в час $Q_{avg} = 8.7 - 17.6$ м³/ч.
5. Определяется время начала обработки дерева № 732 – 9 ч. 58 мин. 06 с. и окончание обработки дерева № 812 – 11 ч. 48 мин. 02 с. Далее определяется время заготовки 81 дерева $T_{ц81дерева} = 1$ ч. 50 мин. 54 с. = 6654 с.
6. Средний объем ствола дерева $V_{cp.} = V / n = 26.37 / 81 = 0.32$ м³.
7. Время обработки одного дерева $T_{ц1дерева} = T_{ц81дерева} / n = 6654 / 81 = 82.1$ с.
8. Объем заготовки в час $Qч = 3600 \times V_{cp.} / T_{ц1дерева} = 3600 \times 0.32 / 82.1 = 14.3$ м³/ч.

Варьируя такой параметр как средний объем хлыста $V_{ср.}$, получим поле значений продуктивности ВСРМ (рисунок 14).

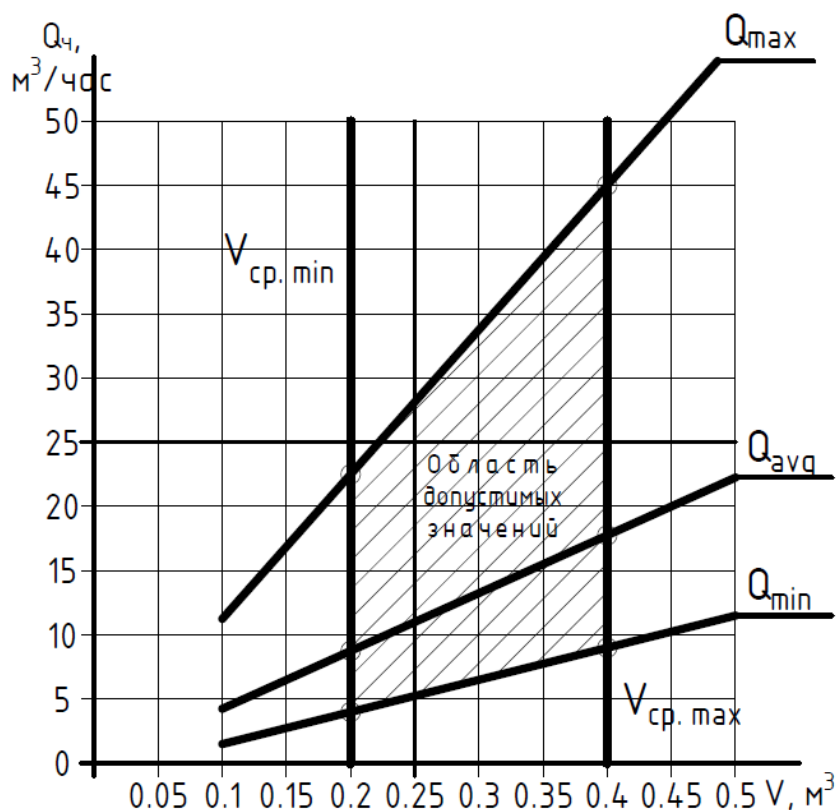


Рисунок 14. Поле значений продуктивной часовой производительности ВСРМ

Рассмотренный метод сведения целевой функции со случайными параметрами к вероятностным ограничениям носит название критерия предельного уровня. Этот критерий не дает оптимального решения задачи, а соответствует лишь нахождению приемлемого способа действия.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Анализ технологий лесосечных работ с использованием тяжелой лесозаготовительной техники и (или) с применением известных канатных трелевочных установок показал, что такое оборудование нерационально применять при освоении лесосек СЗФО РФ с заболоченными и слабонесущими грунтами.
2. Разработана конструкция мобильной канатно-рельсовой трелевочной установки (МКРТУ), обеспечивающая проведение лесозаготовок на лесосеках с протяженностью зоны с заболоченными и слабонесущими грунтами до 100 метров.
3. Разработана математическая модель процесса взаимодействия элементов МКРТУ с поверхностью заболоченных и слабонесущих грунтов, позволяющая определить параметры процесса уплотнения грунтов и прогнозировать результаты лесовосстановительных работ на обработанных лесосеках.

4. На основании математической модели процесса взаимодействия МКРТУ с поверхностью грунтов составлена программа в среде AIMMS, позволяющая получать оперативные данные о степени уплотнения грунтов в зависимости от массы трелеваемой древесины.
5. Теоретические исследования, проведенные для производственных условий АО «Монди СЛПК», Республика Коми, показали преимущества использования предлагаемой МКРТУ по сравнению с современной канатной трелевочной установкой фирмы Lagix. Часовая производительность древесины с использованием МКРТУ составляет 7.4 м³. При использовании канатной трелевочной установки фирмы Lagix – 6 м³.
6. Разработана стохастическая математическая модель оптимизации затрат при разработке лесосек, на основании которой даны рекомендации для получения приемлемой максимальной производительности лесозаготовительной техники в зависимости от объема хлыстов.
7. Рекомендуется использование МКРТУ организациям, прокладывающими дорожные, газовые и иные трассы через лесные зоны с заболоченными и слабонесущими грунтами.
8. Срок окупаемости инвестиций, с учетом дисконтирования от внедрения МКРТУ (патенты РФ №113917, № 173954), может составить 4 года и принести более 5 млн. рублей дохода.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

СТАТЬИ В ВЕДУЩИХ РЕЦЕНЗИРУЕМЫХ ЖУРНАЛАХ:

1. **Свойкин Ф.В., Григорьев И.В.** Мобильная канатно-рельсовая трелевочная установка (МКРТУ) // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2013. № 1 (93). с. 137–141.
2. **Свойкин Ф.В., Григорьев И.В., Жукова А.И., Иванов А.В., Рудов М.Е.** Математическая модель влияния маневрирования трелеваемой пачки древесины на почву лесосек // Системы. Методы. Технологии. – Братск: БрГУ, 2011. Том 4, с. 92–96.
3. **Свойкин Ф.В., Григорьев И.В., Жукова А.И., Иванов А.В., Рудов М.Е.** Результаты экспериментальных исследований воздействия древесины на почву при различных способах трелевки // Системы. Методы. Технологии. – Братск: БрГУ, 2011. Том 4, с. 96–101.
4. **Свойкин Ф.В., Жукова А.И., Цыгарова М.В., Лепилин Д.В.** Математическая модель деформации почвы при повороте трактора // Известия СПбГЛТА. 2011. №195, с. 120–128.
5. **Бачериков И.В., Свойкин Ф.В., Бирман А.Р., Соколова В.А.** Стохастическая модель оптимизации затрат при планировании технологических процессов лесозаготовок // Системы. Методы. Технологии. № 4(36), 2017. с. 182–186. DOI: 10.18324/2077-5415-2017-4-182-186

ПАТЕНТЫ:

6. Патент на полезную модель РФ № 113917 «Канатно-рельсовая трелевочная установка», выдан 10.03.2013, опубликован в бюл. № 7.
7. Патент на полезную модель РФ № 173954 «Устройство для сбора древесины канатно-рельсовой трелевочной установкой», выдан 21.09.2017, опубликован в бюл. № 27.

ПУБЛИКАЦИИ В ПРОЧИХ ИЗДАНИЯХ:

8. **Svoykin F.** Wälder und Klimawandel Zusammenlegbare, mobile Holzückanlage // Sprungbrett Internationale Studierendenkonferenz. Oktober 2012, Berner Fachhochschule Architektur, Holz und Bau, Biel, Switzerland. 2012. p. 144–153.
9. **Свойкин Ф.В.** Производительность лесосечных машин в зависимости от способов рубок // Сб. «Современные проблемы и перспективы рационального природопользования в условиях рынка»: сборник материалов Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов / под ред. авторов – СПб.: СПбГЛТА, 2010. с. 248–253.
10. **Свойкин Ф.В., Грековский Е.П., Иванов А.В.** Проект трелевочной машины на базе МАЗ-7313 // Актуальные проблемы экологии и природопользования. Вып. 13: Сб. науч. тр. – М.: РУДН 2011. Ч. 2. с. 190–194.
11. **Свойкин Ф.В., Григорьев И.В., Жукова А.И., Иванов А.В., Есин Г.Ю.** Новое техническое решение для трелевки лесоматериалов в условиях заболоченных и переувлажненных лесосек // Опыт лесопользования в условиях Северо-Запада РФ и Фенноскандии: материалы международной научно-технической конференции, посвященной 60-летию лесоинженерного факультета Петр ГУ. – Петрозаводск, 2011. с. 8–9.
12. **Свойкин Ф.В.** Результаты изучения затрат рабочего времени колесных сортиментоподборщиков // «Современные проблемы и перспективы рационального лесопользования в условиях рынка»: материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов / Под ред. авторов СПбГЛТУ – СПб.: СПбГЛТУ 2011. с. 322–326.
13. **Свойкин Ф.В., Григорьев И.В., Жукова А.И., Барашков И.А.** Разработка лесосек на заболоченных участках // Дерево.ру, 2011. №6, с. 78–84.
14. **Свойкин Ф.В.** Обоснование оптимальных технологических процессов лесозаготовок в условиях СЗФО РФ // Современные проблемы и перспективы рационального лесопользования в условиях рынка: материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов / Под ред. авторов СПбГЛТУ – СПб.: СПбГЛТУ, 2012. с. 116–118.
15. **Свойкин Ф.В.** Мобильная канатно-рельсовая трелевочная установка // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы международной научно-технической конференции. – Вологда: ВоГТУ, 2012. с. 84–87.
16. **Свойкин Ф.В.** Мобильная канатно-рельсовая трелевочная установка (МКРТУ) // Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ студентов и аспирантов в области технических наук: материалы работ побе-

- дителей и лауреатов конкурса. – СПб.: Издательство Политехнического университета, 2012. с. 180–182.
17. **Свойкин Ф.В.** Мобильная канатно-рельсовая трелевочная установка (МКРТУ) // «Проблемы и достижения автотранспортного комплекса»: Материалы X юбилейной Всероссийской научно-технической конференции. – Екатеринбург, 2012. с. 88–90.
 18. **Свойкин Ф.В.** Мобильная канатно-рельсовая трелевочная установка (МКРТУ) // XIII Международная молодежная научная конференция «Севергеоэкотех-2012»: материалы конференции (21-23 марта 2012 г., Ухта): в 6 ч.; ч. 2. – Ухта: УГТУ, 2013. с. 91–95.
 19. **Свойкин Ф.В.** Обеспеченность (надежность) зимнего периода работы многооперационных лесосечных машин (харвестера, форвардера) // XIII Международная молодежная научная конференция «Севергеоэкотех-2012»: материалы конференции (21-23 марта 2012 г., Ухта): в 6 ч.; ч. 2. – Ухта: УГТУ, 2013. с. 256–260.
 20. **Свойкин Ф.В.** Прогнозирование периода лесосечных работ на летних лесосеках Республики Коми // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы международной научно-технической конференции. – Вологда: ВоГТУ, 2013. с. 31–35.
 21. **Свойкин Ф.В., Григорьев И.В., Григорьева О.И.** Транспортная система для сбора и трелевки древесины в условиях заболоченных лесосек // Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы Международной научно-технической конференции, Тюмень. 2016. с. 93–97.

Просим принять участие в работе диссертационного совета Д.212.220.03 или прислать отзыв на автореферат в 2-х (двух) экземплярах с заверенными подписями по адресу:

194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., 5, литера У, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова».

СВОЙКИН ФЕДОР ВЛАДИМИРОВИЧ

АВТОРЕФЕРАТ

Подписано в печать с оригинал-макета 15.03.18.
 Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Печать трафаретная.
 Уч.-изд. л. 1,0. Печ. л. 1,25. Тираж 100 экз. Заказ № 15. С 2а.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
 Издательско-полиграфический отдел СПбГЛТУ
 194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., 3.