

На правах рукописи

**ЕНАЛЕЕВА – БАНДУРА** Ирина Михайловна

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЛАНИРОВАНИЯ  
ЛЕСОТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ МНОГОЦЕЛЕВОГО  
ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ**

05.21.01. Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Екатеринбург 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирском государственном университете науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева» (ФГБОУ ВО СибГУ им. М.Ф. Решетнева).

Научный консультант: **Ковалев Рудольф Николаевич**

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», профессор кафедры интеллектуальных систем

Официальные  
оппоненты:

**Рябухин Павел Борисович** – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», профессор кафедры технологии лесопользования и ландшафтного строительства

**Петров Михаил Борисович** – доктор технических наук, доцент, руководитель Центра развития и размещения производительных сил Института экономики УрО РАН

**Скрипников Алексей Васильевич** – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», заведующий кафедрой информационной безопасности

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова» (ФГБОУ ВО «СПбГЛТУ им. С.М. Кирова»)

Защита состоится **«22» сентября 2022 г.** в 10.00 на заседании диссертационного совета Д.212.281.02 при ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» по адресу: 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37, к. 401

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» ([www.usfeu.ru](http://www.usfeu.ru)).

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор технических наук, профессор

Шишкина Елена Евгеньевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Основные принципы российского лесного законодательства, сформулированные в статье 1 действующего Лесного кодекса РФ, включают: обеспечение многоцелевого, рационального, непрерывного, неистощительного использования лесов для удовлетворения потребностей общества в лесах и лесных ресурсах; сохранение лесов, в том числе посредством их охраны, защиты, воспроизводства, лесоразведения; улучшение качества лесов, а также повышение их продуктивности.

Реализация концепции устойчивого развития лесов и лесопользования, основанная на обозначенных принципах, в Российской Федерации сопряжена с рядом проблем, основными из которых являются: отсутствие федеральной методики по комплексной, в т.ч. экономической оценке лесов; нестабильность нормативно-правовой базы лесного хозяйства; труднодоступность и низкопродуктивность большей части лесов Российской Федерации; истощение до критического уровня эксплуатационных запасов хвойных пород в доступных (освоенных) лесах; низкий уровень воспроизводства хозяйственно ценных лесов, а так же общий низкий уровень ведения лесного хозяйства. В этой связи обозначается необходимость поиска пути повышения эффективности реализации лесоинженерных и лесохозяйственных мероприятий. Повышение качества проведения отмеченных мероприятий находится в прямой зависимости с комплексным и рациональным использованием лесных ресурсов, которое возможно только при наличии достаточно развитой сети лесных дорог круглогодичного действия, проектирование которых должно базироваться на научном обосновании их планирования. Поскольку именно транспортная сеть на территории лесного фонда (ТСЛФ) в целом, и лесная дорожная сеть в частности, обеспечивают увеличение уровня деловой активности субъектов хозяйствования путем повышения транспортной, а в ее аспекте и технологической доступности лесопокрытых территорий, способствуя устойчивому развитию и технико-эколого-социо-экономической целостности отмеченных территорий. А также «увеличение площади обустроенного леса может оказаться важным для климатического регулирования. Согласно действующим правилам, в зачет поглощения  $\text{CO}_2$  включаются только регулируемые леса, что подразумевает под собой достаточный уровень развития лесотранспортных сетей. Таким образом, при увеличении площади обустроенного леса на три с половиной сотни миллионов гектаров, Россия может добиться признания поглощения дополнительных тонн углекислого и парниковых газов».

Учитывая вышеизложенное, разработка принципов и методов оценки влияния параметров транспортной сети на эффективность использования ресурсного потенциала лесных земель является актуальной научной задачей, направленной на решение общей проблемы устойчивого управления лесами и призванной привнести в решение обозначенной проблемы существенный вклад.

Работа выполнялась автором в соответствии со Стратегией развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года (распоряжение Правительства Российской Федерации от 20 сентября 2018 г. № 1989-р).

**Степень разработанности проблемы.** Вопросу устойчивости развития лесопромышленного комплекса посвящены работы ученых: Э.Л. Акима, И.В. Воскобойникова, К.Л. Михайлова, О.В. Болотова, А.И. Губайдулиной, В.Я. Крупчака, В.И. Желдака, Ю.М. Ельдештейна и др. В обозначенных трудах рассмотрены роли транспортной сети на территории лесного фонда, как правило, осуществляется с позиции главного лесопользования, в основном, опуская его многоцелевой характер в условиях устойчивого управления лесами.

Среди работ, характеризующих многоцелевое, комплексное лесопользование в условиях устойчивого управления лесными ресурсами, выделены труды Р.Н. Ковалева, Н.М. Большакова, Е.Н. Букваревой, К.П. Рукомойникова, П.Б. Рябухина, Ю.В. Лебедева, Д.С. Павлова, В.Н. Петрова, А.И. Писаренко, С.В. Починкова, Е.М. Руновой, В.В. Страхова, Н.П. Чупрова, Я.Я. Яндыганова, Г.А. Прешкина и др. В отмеченной научной литературе развитие транспортной сети лесных территорий предлагается рассматривать через взаимосвязь экологических, социальных и экономических аспектов, выдвигая на первое место экологический аспект в формате экологической безопасности лесных дорог, при этом взаимосвязь транспортной сети и лесной экосистемы не рассматривается.

В сфере экономической оценки использования лесов отмечены работы В.А. Ивлева, К.В. Доможировой, Г.А. Князевой, Ю.В. Лебедева, В.Г. Логинова, Н.Б. Ефимовой, А.П. Петрова, А.И. Писаренко, С.В. Починкова, В.В. Страхова, Л.А. Зазыкиной, Н.П. Чупрова, и др. Также следует отметить научные труды по проблеме экономической оценки доступности лесных ресурсов: А.П. Петрова, В.А. Соколова, А.П. Мохирева, И.В. Пфаненштиль, Г.Н. Филюшкиной, Г.А. Князевой и др. В данных трудах развитие транспортной сети лесных территорий предлагается рассматривать посредством взаимосвязи эксплуатационных, финансово-инвестиционных, организационно-экономических и институциональных факторов.

В области планирования сети лесных дорог известны работы таких ученых как Б.А. Ильина, Г.А. Борисова, Э.О. Салминена, Б.М. Большакова, Р.Н. Ковалева, А.В. Скрыпникова, А.Ю. Мануковского, Д.В. Ложника, Р.А. Черных, А.А. Ранцева, Б.И. Кувалдина, Ю.М. Ельдештейна, Е.С. Матвеевко, Р.И. Абдряшитова и др. А также серьезное внимание вопросам экономико-математической оптимизации проектирования и создания сети лесовозных дорог было уделено в работах J. Sessions, A. Weintraub, R. Church, A. Murray, M. Guignard. Анализ обозначенной научной литературы позволяет констатировать чрезвычайную актуальность проблемы развития сети лесных дорог, эколого-экономической эффективности ее функционирования, а также ее влияние на эффективность фондоотдачи лесных земель в условиях устойчивого управления лесами.

Процессам воспроизводства, сохранения лесных ресурсов и биоразнообразия посвящено большое количество исследований: Л.В. Буряк, В.А. Иванова, Л.В.

Зленко, С.В. Заселова, С.А. Денисова, Т.А. Конюховой, Т.С. Рачковой, С.Л. Шевелева, А.В. Волокитиной и др.

Несмотря на актуальность проблемы обеспечения устойчивого развития территорий лесного фонда и имеющиеся научные достижения в этой области, как в России, так и за рубежом, в отечественной науке пока накоплен незначительный объем исследований, рассматривающих лесотранспортные системы как один из основных факторов, который в современных условиях хозяйствования способствует достижению цели отмеченного развития лесных земель. Комплексное рассмотрение влияния лесотранспортных систем на продуктивность лесных территорий в научной литературе присутствует лишь косвенно и носит локальный характер.

Вопросам оценки ущербов окружающей среде от негативных воздействий посвящено много научных исследований: Н.В. Хильченко, Ю.В. Лебедева, Е.В. Потаповой, Т.А. Матвеевой, О.И. Гавриловой, В.П. Макарова и др. В данной научной литературе отсутствуют исследования по теме повышения отдачи от лесопользования посредством развития транспортной сети на территории лесного фонда, которая позволит провести весь комплекс лесохозяйственных мероприятий после лесных пожаров. А также о том, насколько при наличии развитой дорожной сети сократится эколого-экономический ущерб, причиненный пожарами лесным экосистемам, и ускорится процесс лесовосстановления, как обозначенные выше факторы повлияют на эффективность лесопользования и на экономическую стоимость лесных земель в целом.

Таким образом, очевидна актуальность дальнейшего исследования рассматриваемой проблемы.

**Цель работы.** Разработка методологии планирования транспортной сети на территории лесного фонда с учетом взаимосвязи ее параметров и продуктивности лесных земель, позволяющей обеспечить рациональность проведения лесоинженерных и лесохозяйственных мероприятий, в целях обеспечения устойчивого развития лесных территорий региона.

**Задачи исследования:**

1. Обобщить и проанализировать теоретические и методологические основы устойчивого управления лесами и лесопользованием с учетом фактора уровня развития транспортной сети на территории лесного фонда.

2. Установить взаимозависимость уровня развития лесотранспортной сети и эффективности проведения лесоинженерных и лесохозяйственных мероприятий на основе качественно-количественного критерия.

3. На основе установленных зависимостей, применительно к объекту исследования, разработать методики оценивания эффективности реализации лесоинженерных и лесохозяйственных мероприятий на базе критерия максимизации ресурсоотдачи (комплексной продуктивности) лесных территорий в условиях многоцелевого лесопользования.

4. На базе разработанного методологического аппарата в рамках концепции устойчивого управления лесами и лесопользованием разработать комплексную модель оценивания эффективности планирования транспортной сети на

территории лесного фонда, обеспечивающую рациональность проведения лесоинженерных и лесохозяйственных мероприятий с учетом принципов системности, закономерностей технологического уклада, а также характеристик лесотранспортной сети.

5. Произвести экспериментальное обоснование методологии оценки эффективности планирования, создания и развития лесной транспортной сети на базе комплексного подхода.

**Предмет исследования:** являются параметры лесотранспортной сети и ресурсный потенциал лесных земель.

**Объект исследования:** является взаимосвязь параметров лесотранспортной сети и ресурсного потенциала лесных земель в аспекте главного и разрешенного (побочного) пользования.

**Методы исследования:** системный анализ, методы целочисленного и динамического программирования, дифференциального и интегрального исчисления, экономико-математического и динамического моделирования, инструментарий теории вероятности, комбинаторики и математической статистики.

**Научная новизна работы:**

1. Качественное и количественное обоснование наличия взаимозависимости между параметрами лесотранспортной сети, качеством реализации лесохозяйственных мероприятий и комплексным использованием лесных ресурсов. Выявлена необходимость учета численно установленной величины степени влияния друг на друга отмеченных показателей при разработке оптимизационных моделей, алгоритмов и методов, направленных на поиск путей повышения эффективности производства лесоинженерных и лесохозяйственных мероприятий.

2. Методика оценки эффективности использования ресурсного потенциала лесных земель (в аспекте главного и разрешенного (побочного) лесопользования) с учетом уровня развития транспортной сети на территории лесного фонда. Предложенный методологический аппарат позволяет обеспечить интегральный подход к оценке ресурсного потенциала лесных земель с учетом уровня развития ТСЛФ на базе комплексного технико-социально-эколого-экономического критерия.

3. Методика оценивания эффективности лесовосстановительных мероприятий с учётом влияния уровня развития лесотранспортной сети. Предлагаемая методика предназначена для оценки качества проведения лесовосстановительных мероприятий как после главного пользования лесами, так и в после пожарный период. Методологический аппарат носит интегрированный характер, посредством которого при расчете показателя эффективности лесовосстановления обеспечивается комплексный учет восстановления ресурсного потенциала лесных территорий в динамике.

4. Методика оценки величины комплексного эколого-экономического ущерба лесным экосистемам от пожаров с учётом влияния уровня развития лесотранспортной сети. Предложенный методологический аппарат основан на комплексном подходе к определению величины общего эколого-

экономического ущерба от лесных пожаров на базе экосистемного принципа, учитывающего многостороннее назначение лесных благ, и оценки сопряженности показателя величины общего эколого-экономического ущерба от пожаров лесным экосистемам с уровнем развития лесотранспортной сети. Методика учитывает сокращение количества и величины лесных ресурсов и изменение средоформирующих и социальных функций леса в динамике в послепожарный период, и позволяет производить: более точное прогнозирование вероятности возникновения лесных пожаров на конкретных территориях, разработку рациональных стратегий их предотвращения и создание оптимальных резервов, достаточных для устранения последствий лесных пожаров, которые не были предупреждены.

5. Комплексная модель оценки эффективности планирования транспортной сети на территории лесного фонда, обеспечивающая рациональность проведения лесоинженерных и лесохозяйственных мероприятий с учетом принципов системности, закономерностей технологического уклада, а также характеристик лесотранспортной сети.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Исследование взаимосвязей параметров уровня развития лесотранспортной сети и эффективности проведения лесоинженерных и лесохозяйственных мероприятий на основе качественно-количественного критерия.

2. Метод оценки эффективности использования ресурсного потенциала лесных земель с учетом уровня развития лесотранспортной сети на территории лесного фонда.

3. Метод оценки эффективности лесовосстановительных мероприятий с учётом влияния фактора уровня развития лесотранспортной сети.

4. Метод оценки величины комплексного эколого-экономического ущерба лесным экосистемам от пожаров с учётом влияния фактора уровня развития лесотранспортной сети.

5. Метод оценки эффективности планирования транспортной сети на территории лесного фонда, обеспечивающий рациональность проведения лесоинженерных и лесохозяйственных мероприятий на базе комплексного подхода.

**Теоретическая значимость** заключается в исследовании взаимосвязи параметров уровня развития лесотранспортной сети и продуктивности лесных территорий с учетом принципов устойчивого развития территорий, в разработке методического обеспечения теории определения эффективности планирования создания и развития транспортной сети на территории лесного фонда на основе комплексного технико-эколого-социо-экономического критерия оптимальности ее параметров.

**Практическая ценность работы.** Предложенные на основе теоретико-экспериментальных работ модели и рекомендации позволяют:

- произвести расчет комплексного технико-эколого-социо-экономического эффекта от реализации проекта планирования создания и развития ТСЛФ на

базе качественно-количественного критерия оптимальности принятия инженерных решений;

- обеспечить рациональность транспортно-технологических схем вывозки лесного ресурса и проведения лесовосстановительных мероприятий с учетом природно-климатических и почвенно-грунтовых факторов;

- оценить уровень развития противопожарных лесных дорог и определить необходимость проектирования дополнительных лесных дорог лесохозяйственного назначения, благодаря которым будет обеспечиваться доставка сил и средств пожаротушения в нормативное время в отдаленные места;

- комплексно оценить ущерб лесным экосистемам от природных катастроф путем формирования совокупности натуральных показателей природных благ до и после катастроф (пожаров);

- осуществить прогнозирование вероятности возникновения лесных пожаров, разработку рациональных стратегий их предотвращения и создание оптимальных резервов (на базе расчета эколого-экономического ущерба лесным экосистемам с учетом создания и развития транспортной сети на территории лесного фонда), достаточных для устранения последствий лесных пожаров, которые не были предупреждены и произошли;

- объективно оценить результаты хозяйственной деятельности как лесопользователей, так и представителей органов управления лесным хозяйством;

- обеспечить корректный расчет суммарных затрат на создание и развитие транспортной сети на территории лесного фонда с учетом общего технико-эколого-социально-экономического эффекта от реализации государственного проекта;

- прогнозировать величину фактической прибыли от создания и развития транспортной сети на территории лесного фонда с учетом общего технико-эколого-социально-экономического эффекта от реализации государственного проекта.

**Личный вклад автора.** Заключается в обработке и анализе научно-технических источников информации, обосновании темы, определении цели, формулировке задач исследования, получении теоретических и экспериментальных результатов, их обработке, интерпретации и внедрении в производство.

**Соответствие диссертационной работы паспорту научной специальности.** Результаты, выносимые на защиту, относятся к пункту 6 – «Выбор технологий, оптимизация параметров процессов с учетом воздействия на смежные производственные процессы и окружающую среду» и к пункту 15 - «Обоснование схем транспортного освоения лесосырьевых баз, поставки лесопродукции, выбора техники и способов строительства лесовозных дорог и инженерных сооружений» (паспорт специальности 05.21.01 – Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства).

**Достоверность результатов исследований** обеспечена:



использованием в работе современных, апробированных теоретических подходов с применением аналитических и экспериментальных методов исследований; использованием инструментария математической статистики при обработке результатов исследований; сходимостью теоретических положений и экспериментальных результатов.

**Апробация работы.** Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: международной научно-практической конференции «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе» (Пермь, 2019 г.); международной научно-практической конференции «Научные открытия: проекты, стратегии и развитие» (Эдинбург, 2019 г.); международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы современной науки: теория, технология, методология и практика» (Уфа, 2019 г.); международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы авиации и космонавтики» (Красноярск, 2019 г.); международной мультидисциплинарной конференции «FarEastCon» (Владивосток, 2019г.); международной научно-практической конференции «Логистические системы в глобальной экономике» (Красноярск, 2020-2021 гг.); международной научно-технической конференции «Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса» (Екатеринбург, 2021г.); международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития лесного комплекса» (Вологда, 2021г.); всероссийской научно-практической конференции «Лесной и химический комплексы - проблемы и решения» (Красноярск, 2020-2021 гг.); всероссийской научно-практической конференции «Лесозэксплуатация и комплексное использование древесины» (Красноярск, 2020-2021гг.; всероссийской научно-практической конференции «Транспорт и логистика: актуальные вопросы, проектные решения и инновационные достижения» (Красноярск, 2020 -2021гг.); международной научно-практической конференции «Проблемы «Challenges in Science of Nowadays» (Вашингтон, 2020 г.); международной научно-практической конференции «Science and Practice: Implementation to Modern Society» (Манчестер, 2020г.); всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) «Молодые ученые в решении актуальных проблем науки» (Красноярск, 2020 -2021гг.); международной научно-практической конференции «Scientific Research in XXI Century» (Ottawa, 2020г.); всероссийской научно-технической конференции «Автомобиле- и тракторостроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства» (Ижевск, 2021 г.); российской научно-технической конференции (с международным участием) «Инновационные технологии в электронике и приборостроении» (Москва, 2021г.); международном семинаре «Серия конференций IOP: Материаловедение и инженерия» (Красноярск, 2019-2021 гг.); международном семинаре «Серия конференций IOP: Материаловедение и инженерия» (Барнаул, 2019 г.), «International Scientific Conference Transport of Siberia» (Новосибирск, 2020- 2021гг.).

**Реализация работы.** Результаты диссертационной работы внедрены в Министерство лесного хозяйства по Красноярскому краю, КГБУ «Богучанское лесничество» (Красноярский край 2022г.), КГБУ «Манское лесничество» (Красноярский край 2022г.) и используются в учебном процессе и научно-исследовательской работе студентов направлений 35.03.02 и 35.04.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств» в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирском государственном университете науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева».

**Публикации.** Результаты исследований отражены в 55 научных работах общим объемом 50,79 п.л. (авторских 22,72 п.л.), в том числе в 14 статьях в изданиях, определенных ВАК Минобрнауки РФ, в 5 публикациях, размещенные в МБД Scopus и Web of Science, в 33 статьях и материалах конференций, в 3 монографиях. В работах, опубликованных в соавторстве, личное участие автора заключается в определении целей и задач работы, в выполнении теоретических и экспериментальных исследований и анализе их результатов.

**Структура и объём работы.** Диссертационная работа состоит из введения, шести разделов, выводов и рекомендаций, списка используемых источников из 277 наименований и 5 приложений. Основной текст работы изложен на 335 страницах машинописного текста, иллюстрировано 72 рисунка и 78 таблиц. Общий объем работы с приложениями составляет 347 страниц.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы, определены цель и круг задач диссертационного исследования, отражены его научная новизна, теоретическая и практическая значимость, представлена информация об апробации результатов исследования, основные положения, выносимые на защиту, сведения об его структуре и объеме. Приведены методы исследования, сведения о степени достоверности, апробации и реализации результатов диссертационной работы.

**В первой главе «Теоретические основы планирования транспортной сети на территории лесного фонда на основе принципов устойчивого управления лесами»** Обобщены и проанализированы теоретические основы устойчивого управления лесами и лесопользованием с учетом фактора уровня развития транспортной сети на территории лесного фонда. Рассмотрен аспект оценивания влияния уровня развития транспортной сети на продуктивность лесных земель в основных научных подходах к устойчивому управлению лесами. Согласно анализу научных трудов по обозначенной проблематике, выявлено, что при определении сущности устойчивого управления лесами с учетом технико-эколого-социо-экономического эффекта от лесопользования ученые придерживаются разных точек зрения, при этом наиболее часто встречается рассмотрение экономического механизма и способов повышения его эффективности в контексте заготовки древесины и освоения резервных лесных территорий. Рассмотрение такого фактора как уровень развития

транспортных сетей на территории лесного фонда как механизма повышения эффективности фондоотдачи (продуктивности) лесных земель в научной литературе отсутствует. Также установлено, что, несмотря на многообразие научных подходов, основы устойчивого управления лесами с учетом построения эколого-экономического механизма оценки продуктивности лесных территорий недостаточно проработаны, в частности с технической стороны, выраженной взаимосвязью транспортной сети и принципов устойчивого развития территорий лесного фонда. Научные исследования в области создания и развития до оптимального уровня сети лесных дорог характеризуются отсутствием комплексного подхода к планированию ТСЛФ. Большинство трудов по заявленной проблематике носит локальный характер и направлено на решение отдельных вопросов устойчивого развития регионов. Исходя из анализа научных подходов к устойчивому управлению лесами, выявлена необходимость разработки *целостной системы методов и инструментов планирования ТСЛФ* в целях повышения эффективности фондоотдачи лесных земель. Система методов и инструментов планирования ТСЛФ должна учитывать следующие свойства лесотранспортной сети: гибкость (адаптация к изменяющимся условиям), экономичность (реализация конкурентных преимуществ), «прогрессивность- инновационность» (соответствие уровню развития технологического уклада), экологичность (обеспечение реализации экологического потенциала лесных территорий и сохранение окружающей среды), социо-ориентированность (развитие рекреационного использования и устранению транспортной дискриминации лесных территорий).

**Во второй главе «Методологические основы повышения продуктивности лесных земель с учетом уровня развития транспортной сети на территории лесного фонда»** Обобщены и проанализированы методологические основы повышения продуктивности лесных земель с учетом уровня развития транспортной сети на территории лесного фонда. На базе результатов анализа было определено, что планирование рациональной ТСЛФ представляет собой многокритериальную задачу, поскольку, стоимость её строительства и эксплуатации, экологическая, социальная и техническая эффективности противоречивы. Исходя из этого, необходимо рассматривать планируемую ТСЛФ и территорию предполагаемого освоения лесного фонда как единую сложную систему, находящуюся в синергетических связях между собой с учётом влияния природных и антропогенных факторов. При этом важно оценить как фактическое наличие и качество существующей транспортной сети, так и решить задачу, какой должна быть оптимальная транспортная сеть, при которой общая экономическая стоимость участка земель лесного фонда на конкретной территории будет максимальной. Решением данной многокритериальной задачи является выработка методологии оценки эффективности ТСЛФ, основанная на комплексном подходе к объекту оценивания. Анализ методологических основ по тематике настоящего исследования позволил выявить, что подобный методологический аппарат должен разрабатываться на основе совокупности следующих инструментов: системного анализа, методов целочисленного и динамического

программирования, дифференциального и интегрального исчисления, экономико-математического и динамического моделирования, элементов теории вероятности, комбинаторики и математической статистики. Возможностью выработки данной методологии является экспериментально подтвержденное наличие влияния параметров транспортной сети на продуктивность территорий лесного фонда, и его численно выраженная оценка.

**В третьей главе «Исследование влияния параметров транспортной сети на продуктивность территорий лесного фонда»** Обоснована необходимость, в рамках устойчивого развития отрасли и территорий лесного фонда, учета влияния уровня развития транспортной сети посредством: выявления и оценивания влияния уровня развития транспортной сети на территории лесного фонда на качество проведения лесохозяйственных мероприятий; установления взаимосвязи между уровнем развития транспортной сети и продуктивностью территории лесного фонда на основе качественно-количественного критерия. Исследование произведено на основании фактических данных модели зависимости технико-эколого-социо-экономических показателей лесной отрасли от уровня развития ТСЛФ, посредством метода корреляционно-регрессионного анализа. В целях обеспечения комплексного подхода к исследованию, произведенный эксперимент включает в себя определение тесноты взаимосвязи: между уровнем развития транспортной сети на территории лесного фонда и объемами главного и побочного лесопользования; между ТСЛФ и качеством проведения противопожарных и лесовосстановительных мероприятий. Эксперимент произведен на примере лесничеств Красноярского края. Для обеспечения чистоты экспериментальных расчетов нами принято разделение лесничеств, по плотности лесных дорог (данный показатель определяет уровень развития транспортных сетей на территориях лесного фонда) на три группы: группа I - 0-1 км/тыс. га; группа II - 1-5 км/тыс. га; группа III – 5 км/тыс. га и более. Расчет количественных изменений анализируемого явления при прогнозировании взаимосвязи исследуемых параметров показал следующее: на базе обработки статистических данных методом корреляционно-регрессионного анализа выявлена и оценена степень влияния уровня развития транспортной сети на качество проведения лесохозяйственных мероприятий, которая составляет, согласно высокому значению индекса корреляции, обуславливающему сопряженность исследуемых параметров, от 0,712 до 0,802 по взаимозависимости уровня развития транспортных сетей и лесовосстановительных работ; от 0,711 до 0,762 по взаимозависимости уровня развития транспортных сетей и противопожарных мероприятий. Полученные значения индекса корреляции указывают на наличие прямой зависимости между исследуемыми параметрами, то есть, чем более развита транспортная сеть на территории лесного фонда, тем выше качество проведения искусственного лесовосстановления. Также следует отметить, что чем более развита транспортная сеть, тем выше количество возгораний на территориях лесного фонда (данное обстоятельство обусловлено влиянием антропогенного фактора), но площадь территорий лесного фонда, пройденная пожарами, в

условиях развитости лесных транспортных сетей значительно меньше (более 60%) площади, пройденной лесными пожарами в условиях неразвитости либо полного отсутствия лесотранспортных сетей, несмотря на меньшее число очагов возгорания; установлена взаимосвязь между уровнем развития транспортной сети и продуктивностью территории лесного фонда на основе критерия комплексной эколого-экономической эффективности посредством производства корреляционно-регрессионного анализа. Данная взаимосвязь является тесной, согласно высокому значению индекса корреляции, обуславливающему сопряженность исследуемых параметров: от 0,739 до 0,760 по взаимозависимости уровня развития транспортных сетей и объемами выхода деловой древесины лиственных пород; от 0,727 до 0,814-хвойных пород и от 0,721 до 0,821 по разрешенному лесопользованию. Данное обстоятельство определено наличием обратно-пропорциональной зависимости между исследуемыми параметрами, то есть, чем более развита транспортная сеть на территории лесного фонда, тем ниже объем выхода деловой древесины с 1га, так как в зоне тяготения транспортных сетей лесные территории практически освоены в рамках главного пользования, а восстановленные лесные массивы не созрели до возраста рубки. На основе установленных зависимостей применительно к объекту исследования, *становится научно обоснованной задача разработки: метода экономической оценки ресурсного потенциала лесных территорий в условиях многоцелевого лесопользования, метода оценки эффективности лесовосстановительных мероприятий и метода оценки экологического ущерба лесным экосистемам с учётом параметров ТСЛФ. Совокупность данных методов представляет собой оценку эффективности дорожной составляющей планирования лесотранспортной сети.*

**В четвертой главе «Методы оценки эффективности реализации лесоинженерных и лесохозяйственных мероприятий с учетом уровня развития транспортной сети на территории лесного фонда»** представлены методологические разработки форматизированные с помощью математических моделей. Данные модели построены посредством анализа фактических данных зависимости технико-эколого-социо-экономических показателей лесной отрасли от уровня развития ТСЛФ. Отмеченные модели оценивают влияния уровня развития лесотранспортной сети на продуктивность лесных территорий, посредством расчета показателей эффективности управления лесами и лесопользованием в аспекте капиталотдачи ТСЛФ. Указанные модели представлены подробным описанием всех входящих зависимостей в их целевые функции и системы ограничений.

1. *Метод оценки эффективности использования ресурсного потенциала лесных земель с учетом уровня развития ТСЛФ* основан на интегральном подходе к определению величины ресурсного потенциала лесных земель. Интегральный показатель, определяющий ресурсный потенциал ( $\Pi_{л}$ ) лесных земель, представляет собой разность между суммарной капитализированной валовой выручкой в аспекте многоцелевого лесопользования и суммарными

капитализированными затратами за весь период освоения территории лесного фонда и определяется выражением (1):  $P_{л} = V_{вал}^T - S$ , (1)

где  $V_{вал}^T$  – суммарная капитализированная валовая выручка от всех видов лесопользования на 1 га лесных земель, руб./га;  $S$  – суммарные капитализированные затраты на 1 га лесных земель, руб./га. Суммарная капитализированная валовая выручка по видам лесопользования за весь период освоения территории лесного фонда определяется следующим выражением:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{вал}^T = \frac{\sum_{t=0}^T (V_g(t) + V_{под}(t) + V_{поб}(t) + V_{пф}(t))}{(1+e)^t} \cdot \left(1 + \frac{1}{(1+e)^T}\right) \rightarrow \max \\ V_g(t) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L [C_{il}^3(t) + C_{ijkl}^{TP}(t) + C_{ijk}^{Tex}(t)] \cdot Q_{ijk}^3(t) \\ V_{под}(t) = C^{год} \cdot K_p^{об}, \\ V_{поб}(t) = 100 C_B^{год} \\ V_{пф}(t) = \sum_{t=0}^T (Q_l^3(t) \cdot K_l^{пор}(t)) \cdot C^B \end{array} \right. \quad (2)$$

где  $V_g(t)$  – валовая выручка посредством отпуска древесины на корню на 1 га лесных земель, руб./га, на момент времени  $t$ ;  $V_{под}(t)$  – валовая выручка от подсочки на 1 га леса, руб./га, на момент времени  $t$ ;  $V_{поб}(t)$  – валовая выручка от побочного лесопользования: туризма, охоты, спорта и др. целей принимается равным стократной величине годового размера лесных податей, взимаемых за соответствующий вид лесопользования на оцениваемом участке лесных земель, руб./га, на момент времени  $t$ ;  $V_{пф}(t)$  – валовая выручка от продуцирования углероддепонирующей функции лесов на 1 га леса, руб./га, на момент времени  $t$ ;  $C_{il}^3(t)$  – стоимость древесины  $l$ -породы на  $i$ -том гектаре на корню (второстепенных лесных ресурсов)  $l \in \{1, \dots, L\}$ , руб./га, на момент времени  $t$ ;  $C_{ijk}^{TP}(t)$  – транспортные расходы на вывозку при заготовке объема запаса лесного сырья  $i$ -того гектара,  $i \in \{1, \dots, m\}$ , на  $j$ -тый склад (прирельсовый участок, потребителю),  $j \in \{1, \dots, n\}$ ,  $k$ -тым типом транспорта  $k \in \{1, \dots, K\}$ , руб./га, на момент времени  $t$ ;  $C_{ijk}^{Tex}(t)$  – технологические затраты при заготовке объема запаса лесного сырья, руб./га, на момент времени  $t$ ;  $Q_{ijk}^3(t)$  – объем запаса древесины на корню  $l$ -породы (второстепенных лесных ресурсов), на момент времени  $t$ ;  $e$  – коэффициент дисконтирования;  $T$  – период освоения территории лесного фонда, лет;  $t$  – время от момента оценки до момента заготовки ресурса,  $t \in \{0, \dots, T\}$ , лет;  $C^{год}$  – годовая ставка лесных податей, взимаемых за подсочку 1 га насаждений;  $K_p^{об}$  – коэффициент оборота рубки, изменяется от 16,39 до 4,59 при обороте рубки от 50 до 120 лет, соответственно;  $C_B^{год}$  – годовой размер лесных податей, взимаемый за соответствующий вид лесопользования;  $K_l^{пор}(t)$  – коэффициент поглощения  $CO_2$  лесами  $l$ -породы породы  $i$ -того гектара на момент времени  $t$ ;  $Q_l^3(t)$  – объем запасов лесов  $l$ -породы породы на  $i$ -том гектаре, на момент времени  $t$ ;  $C^B$  – удельная оценочная стоимость функции поглощения  $CO_2$  на момент времени  $t$ , руб./га. Суммарные капитализированные затраты (затраты, связанные с лесозаготовками,

лесовосстановлением, строительством и эксплуатацией ТСЛФ за период освоения территории лесного фонда) определяются выражением (3):

$$S = \sum_{t=0}^T \frac{(\Pi_3 + \Pi_B + \Pi_r + \Pi_y + P'_{ij} \cdot \Delta t(t))}{(1+e)^t} \cdot \left(1 + \frac{1}{(1+e)^T}\right) \rightarrow \min \quad (3)$$

где  $\Pi_3$  – приведенные затраты на создание и эксплуатацию ТСЛФ, руб./га., на момент времени  $t$ ;  $\Pi_B$  – нормативные затраты на воспроизводство, охрану и защиту лесов, гарантирующие их восстановление на вырубках, выращивание до возраста зрелости, охрану и защиту, руб./га., на момент времени  $t$ ;  $\Pi_r$  – затраты на содержание социальной инфраструктуры, создаваемой в связи с использованием водных ресурсов, руб./га., на момент времени  $t$ ;  $\Pi_y$  – неучтенный в хозяйственной деятельности ущерб от загрязнения окружающей среды, руб./га., на момент времени  $t$ ;  $P'_{ij}$  – омертвление актива лесного хозяйства (не реализация) от не освоения территории лесного фонда ввиду отсутствия лесной дорожной сети, на момент времени  $t$ , руб./га.;  $\Delta t$  – период не освоения территории лесного фонда.  $P'_{ij}$  рассматривается нами как издержки, включающие в себя потенциальный доход, упущенный вследствие откладывания поступлений доходов от лесопользования плюс издержки удаления доходов от будущих производственных циклов на период времени  $\Delta t$ . Согласно выведенным зависимостям, эффективность использования ресурсного потенциала лесных земель ( $\text{Эф}_n(T)$ ) определяется отношением отмеченного показателя к приведенные затратам на создание и эксплуатацию ТСЛФ за весь период освоения лесного фонда (выражение (4)):

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Эф}_n(T) = \frac{\Pi_n(T)}{\Pi_3(T)} \times 100\% \\ \Pi_3(T) = \sum_{t=0}^T \frac{\Pi_3(t)}{(1+e)^t} \cdot \left(1 + \frac{1}{(1+e)^T}\right) \rightarrow \min \\ T = \sum_0^T t \end{array} \right. \quad (4)$$

При реализации предложенной нами математической модели интегральной экономической оценки комплексной продуктивности лесных земель с учетом планирования создания и развития транспортной сети на территории лесного фонда следует учитывать следующие ограничения:

1. Окупаемость проекта планирования ТСЛФ:

$$\sum_{t=0}^T \frac{(B_g(t) + B_{\text{под}}(t) + B_{\text{поб}}(t) + B_{\text{пф}}(t))}{(1+e)^t} \cdot \left(1 + \frac{1}{(1+e)^T}\right) > S \quad (5)$$

2. Финансовая устойчивость предприятия инвестирующего в проект планирования ТСЛФ:

$$\sum_{t=0}^T \frac{(\Pi_3 + \Pi_B + \Pi_r + \Pi_y + P'_{ij} \cdot \Delta t(t))}{(1+e)^t} \cdot \left(1 + \frac{1}{(1+e)^T}\right) \leq \Pi_{\text{max}} \quad (6)$$

где  $\Pi_{\text{max}}$  – финансовые возможности предприятия, руб.

3. Транспортная доступность лесоучастков:  $L_{ij} \leq L_{\text{дост}}$  (7)

где  $L_{ij}$  – расстояние между  $i$ -тым лесным участком и  $j$ -тым складом сырья, км.

4. Естественная неотрицательность грузопотоков:

$$Q_{ijk}(t) \geq 0, \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n; \quad t = 0, \dots, T; \quad k = 1, \dots, K. \quad (8)$$

Предлагаемая математическая модель интегральной экономической оценки эффективности использования ресурсного потенциала лесных земель с учетом факторов планирования ТСЛФ обеспечивает комплексный подход к вычислению указанного показателя при многоцелевом лесопользовании.

2. *Метод оценки эффективности лесовосстановительных мероприятий с учетом уровня развития транспортной сети на территории лесного фонда.* Вычисление величины общего эффекта от реализации лесовосстановительных мероприятий при наличии ТСЛФ в рамках интегрального подхода задается производственными условиями, которые в основном вытекают из способов извлечения ресурсного потенциала лесных территорий, за исключением лесовосстановления в послепожарный период. Указанное условие в зависимости от размера негативного влияния пожаров на лесные территории, математически может быть описано либо условием сплошной рубки, либо условием выборочной с учетом специфики технологического процесса лесовосстановления в послепожарный период. Расчет оценки реализации лесовосстановительных мероприятий на территориях лесного фонда с учетом планирования транспортной сети на основе качественного критерия нами предлагается производить с помощью логарифмов в целях обеспечения ускорения вычислений и снижения погрешности расчетов.

$$\mathcal{E}_d^{\text{л}}(t) = \sum_{i=1}^K \frac{\log K_i^{\text{эл}}(t)}{n} \quad (10)$$

где  $n$  – количество показателей  $K_i^{\text{эл}}$ ;  $K_i^{\text{эл}}$  – коэффициенты, определяющие эффективность лесовосстановительных мероприятий, которые могут определяться организацией самостоятельно исходя из поставленных задач, нами приводятся лишь основные показатели, являющиеся ключевыми при оценке критериального значения эффективности лесовосстановления:

1. Коэффициент воспроизводства лесов:  $K_{\text{воспр}}^{\text{эл}} = S^{\text{пр}} / S^{\text{в}}$  (11)

где  $S^{\text{пр}}$  – площадь лесного фонда, на которой были проведены активные лесовосстановительные мероприятия, га;  $S^{\text{в}}$  – площадь вырубленных и/или погибших лесов, га.

2. Коэффициент ввода молодняков в категорию хозяйственно ценных насаждений:

$$K_{\text{ввм}}^{\text{эл}} = S^{\text{м}} / S^{\text{общ}} \quad (12)$$

где  $S^{\text{м}}$  – площадь введенных молодняков в категорию хозяйственно ценных насаждений, га;  $S^{\text{общ}}$  – площадь сплошных вырубок или пройденной пожаром территории лесного фонда.

3. Коэффициент продуктивности молодняков, переведенных в покрытые лесом земли. Оценка показателя по отношению фактического древесного запаса к расчетному (запроектированному лесоустройством).



$$K_{\text{прм}}^{\text{эл}} = M^{\text{М}} / M^{\text{ПЛ}} \quad (13)$$

где  $M^{\text{М}}$  – фактический древесный запас молодняков, переведенных в покрытые лесом земли, тыс. м<sup>3</sup>;  $M^{\text{ПЛ}}$  – плановый древесный запас молодняков, переведенных в покрытые лесом земли, тыс. м<sup>3</sup>. Указанный эффект должен определяться по каждому периоду освоения лесного фонда в прогностических целях оценки качества производства лесовосстановительных мероприятий на период  $(t + 1)$ . Данное прогнозирование осуществляется посредством выражения (14), по древесным и недревесным лесным ресурсам соответственно:

$$\begin{cases} \sum_l^L Z_{\text{ЛВ}}(t + 1) = \sum_l^L Z_{\text{ЛВ}}(t + 1) + [(1 - \varepsilon_{\text{д}}^l(t)) \cdot \sum_l^L Z_{\text{ЛВ}}(t) \\ \sum_d^D Z_{\text{ЛВ}}(t + 1) = \sum_d^D Z_{\text{ЛВ}}(t + 1) + [(1 - \varepsilon_{\text{нд}}^d(t)) \cdot \sum_d^D Z_{\text{ЛВ}}(t) \end{cases} \quad (14)$$

Расчет оценки реализации лесовосстановительных мероприятий за весь период освоения территории лесного фонда с учетом планирования транспортной сети на основе количественного критерия представляет собой отношение суммарной величины валовой прибыли от реализации древесины  $\Pi^{\text{СП}}(T)$  и валовой прибыли, включающей в себя доходы от побочного лесопользования, экологических и других полезностей леса  $\Pi^{\text{ЭК}}(T)$  к затратам на лесовозобновление  $(\sum_l^L Z_{\text{ЛВ}}(T) + \sum_d^D Z_{\text{ЛВ}}(T))$ , то есть обозначенная величина показывает отдачу сегодняшних вложений в лесовосстановление в период  $t_0$  к будущим доходам от комплексного лесопользования в период  $t$ , и определяет эффективность обозначенных вложений. Данный показатель определяется выражением (15):

$$\begin{cases} \varepsilon^l(T) = \frac{\Pi^{\text{СП}}(T) + \Pi^{\text{ЭК}}(T)}{\sum_l^L Z_{\text{ЛВ}}(T) + \sum_d^D Z_{\text{ЛВ}}(T)} \times 100\% \\ Z_{\text{ЛВ}}^l(T) = \sum_{t=0}^T \frac{Z_{\text{ЛВ}}^l(t)}{(1+e)^t} \cdot \left(1 + \frac{1}{(1+e)^T}\right) \\ Z_{\text{ЛВ}}^d(T) = \sum_{t=0}^T \frac{Z_{\text{ЛВ}}^d(t)}{(1+e)^t} \cdot \left(1 + \frac{1}{(1+e)^T}\right) \\ T = \sum_0^T t \end{cases} \quad (15)$$

где  $Z_{\text{ЛВ}}(t)$  – нормативные затраты на воспроизводство  $l$ -той породы ( $d$ -того ресурса), гарантирующие ее (его) восстановление как на вырубках, так и после лесных пожаров, выращивание до возраста зрелости, охрану и защиту, руб./га., на момент времени  $t$ . Суммарная величина валовой прибыли от многоцелевого лесопользования определяется выражением (16):

$$\Pi^{\text{СП}}(T) + \Pi^{\text{ЭК}}(T) = \left[ (V^{\text{СП}}(T) - Z_c(T)) + (V^{\text{ЭК}}(T) - Z_d(T)) \right] - Z_3(T) \quad (16)$$

где  $Z_c(T)$  – установленные для планируемого периода технически обоснованные нормы расхода сырья, материалов и др.  $Z_d(T)$  – технологические затраты, связанные с побочным лесопользованием, транспортные расходы, заработная плата основных и вспомогательных рабочих и др.  $Z_3(T)$  – включает в себя: затраты на создание и эксплуатацию ТСЛФ в период времени  $t$ .

Отношение, описанное выражением (16) складывается из консолидированных дисконтированных денежных потоков валовых выручек и приведенных затрат на строительства и эксплуатацию ТСЛФ по периодам освоения территорий лесного фонда  $t_i$  с учетом отмеченного обстоятельства выражение (17) принимает вид:

$$\sum_{t=0}^T \frac{\Pi^{cp}(t) + \Pi^{ek}(t)}{(1+e)^t} \cdot \left(1 + \frac{1}{(1+e)^T}\right) = \sum_{t=0}^T \frac{[(B^{cp}(t) - 3_c(t)) + (B^{ek}(t) - 3_d(t))] - 3_3(t)}{(1+e)^{t_i}} \times \left(1 + \frac{1}{(1+e)^T}\right) \quad (17)$$

Следует отметить, что сумма  $B^{cp}(T) + B^{ek}(T)$  представляет собой показатель, определяемый выражением (2). При реализации предложенного методологического аппарата эколого-экономического эффекта от реализации лесовосстановительных мероприятий с учетом проекта планирования ТСЛФ следует учитывать следующие ограничения: окупаемость проекта планирования ТСЛФ; требование непрерывного, неистощительного лесопользования по древесным и недревесным ресурсам; окупаемость затрат на лесовосстановление. А также необходим учет ограничений, прописанных в выражениях ((6)- (8)). Подобный подход позволяет оценить не только отношение результата к затратам, но и эффективность технологии лесовосстановительного процесса, а также достаточность развитости лесотранспортной сети для качественного обеспечения лесовосстановительных мероприятий.

3. *Метод оценки величины эколого-экономического ущерба от пожаров лесным экосистемам с учетом уровня развития ТСЛФ.* Метод основан на принципах экосистемного подхода, при котором учитываются факторы сокращения количества и объёма лесных ресурсов и изменения средоформирующих и социальных функций леса в послепожарный период в динамике. В предложенном нами методе отмеченный ущерб представляет собой интегральную величину генерирующую в себе следующие составляющие: затраты на ликвидацию последствий лесных пожаров; суммарный ущерб, нанесенный лесным экосистемам и суммарные потери валовой выручки. И определяется, согласно выражению (18) как произведение суммы указанных показателей на площадь выгорания земель лесного фонда.

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_{сум}^{общ} = \sum_{k=0}^K Y_k^{общ} \cdot S_k^{выг} \\ Y_k^{общ} = 3_m + \sum_{t=0}^T \sum_l^L (3_l^l + P^c + Y^c) \cdot K_l^t \rightarrow \min \\ S_k^{выг} = \vartheta_k \cdot t_n \cdot \prod_{g=1}^b g_b \\ t_n = t_{об} + t_{оп} + t_{mob} + t_d + t_p + t_t + t_k \rightarrow \min \end{array} \right. \quad (18)$$

где  $Y_k^{общ}$  – величина эколого-экономического ущерба лесным экосистемам на 1 га лесных земель, пройденных  $k$ -тым пожаром, руб./га.,  $k \in (0, \dots, K)$ ;  
 $S_k^{выг}$  – площадь участка леса с  $l$ - тым лесным ресурсом, пройденная  $k$ -тым пожаром, га.;  $3_m$  – суммарные затраты на тушение  $k$ -тых пожаров на 1 га лесных земель, руб./га.;  $3_l^l$  – суммарные затраты на восстановление  $l$ - го лесного

ресурса на 1 га лесных земель, пройденных  $k$ -тым пожаром, руб./га;  $P^c$  – суммарные потери валовой выручки по видам лесопользования за весь период восстановления территории лесного фонда на 1 га лесных земель, пройденных  $k$ -тым пожаром, руб./га;  $Y^c$  – суммарный ущерб (прямой и косвенный) от повреждения ресурсов по видам лесопользования за весь период восстановления территории лесного фонда на 1 га лесных земель, пройденных  $k$ -тым пожаром, руб./га;  $\prod_{g=1}^b g_b$  – рассматривается нами как произведение влияния различных факторов на интенсивность распространения  $k$ -того пожара по территории лесного фонда, таких как природно-климатические и географические условия, возможные временные потери при тушении  $k$ -того пожара и т.д.,  $g \in (1, \dots, b)$ ;  $v_k$  – скорость распространения  $k$ -того пожара по территории лесного фонда;  $t_l$  – общее время на ликвидацию  $k$ -того пожара на территории лесного фонда;  $t_{ob}$  – время обнаружения  $k$ -того пожара на территории лесного фонда, путем строительства и использования естественных пунктов наземного наблюдения, увеличения кратности авиа- и наземного патрулирования;  $t_{op}$  – время оповещения об обнаружении  $k$ -того пожара на территории лесного фонда;  $t_{mob}$  – время мобилизации пожарных бригад, формирование мест базирования лесопожарного инвентаря;  $t_d$  – время доставки спецтехники и пожарных бригад к очагу возгорания. Нормативное время доставки людей и спецтехники не должна превышать 3 часа. В случае если бригада не успевает прибыть в течение 3 часов на место пожара, то подключается помощь с воздуха. Данное обстоятельство существенно повышает затраты на тушение  $k$ -того пожара на территории лесного фонда;  $t_p$  – время подготовки к тушению  $k$ -того пожара на территории лесного фонда;  $t_t$  – время тушения  $k$ -того пожара на территории лесного фонда;  $t_k$  – время окарауливания, т.е. время на обнаружение и тушение скрытых очагов горения при  $k$ -том пожаре на территории лесного фонда;

$K_l^t$  – коэффициент временной коррекции восстановления  $l$ -го лесного ресурса (поправка на географическое положение, климатические условия и т.п.). Ввод в модель данного коэффициента обусловлен тем, что восстановление леса во многом зависит от климата – так, на севере сосне или лиственнице, чтобы вырасти во взрослое дерево, потребуется около 100 лет, а на юге – около 60-70 лет. Суммарные потери валовой выручки ( $P^c$ ), в результате возникновения  $k$ -того пожара, по видам лесопользования за весь период восстановления территории лесного фонда определяются выражением (2), так как показатель  $P^c$  является обратным для показателя  $B_{вал}^T$ .

Суммарный ущерб, нанесенный  $k$ -тым лесным пожаром, по видам ущерба за весь период восстановления территории лесного фонда определяются следующим выражением:

$$Y^c = \sum_{t=0}^T \frac{Y_3 + Y_B + Y_r + Y_y + Y_{ог}}{(1+e)^t} \cdot \left(1 + \frac{1}{(1+e)^T}\right) \rightarrow \min \quad (19)$$

где  $Y_3$  – ущерб от снижения почвозащитных, санитарно-гигиенических, водоохраных и других средообразующих функций леса, руб./га;  $Y_B$  – ущерб от

загрязнения воздушной среды продуктами горения, который впредь до разработки нормативов объемов сгорания органических веществ при лесных пожарах принимается в размере 10 % от суммарного ущерба, причиняемого лесными пожарами, в виде стоимости потерь древесины на корню и ущерба от повреждения молодняков, руб./га;  $Y_r$  – ущерб от гибели животных и растений, включая занесенных в Красную книгу, впредь до разработки нормативов численности погибающих от лесных пожаров животных и растений, включая занесенных в Красную книгу Российской Федерации, до недавнего времени принимался в размере 5 % от ущерба (однако на сегодняшний день Минприроды и экологии повысило в 400 раз совокупную стоимость российской флоры и фауны), причиняемого в виде стоимости потерь древесины на корню, и ущерба от повреждения молодняков искусственного и естественного происхождения, руб./га;  $Y_y$  – ущерб от повреждения ресурсов побочного лесопользования, руб./га;  $Y_{ог}$  – стоимость сгоревших объектов и готовой продукции в лесу (снижение стоимости объектов и готовой продукции, поврежденных пожаром), руб./га. Комплексная оценка величины эколого-экономического ущерба лесным экосистемам, является показателем прогнозирующим величину планируемых затрат на охрану лесов от пожаров и борьбы с пожарами (которые включают в себя: создание и развитие транспортной сети а также затраты, связанные с патрулированием лесной территории, пропагандой, содержанием штата лесной охраны и другими противопожарными мероприятиями). В этой связи важнейшим показателем, определяющим эффективность данных затрат, является величина предотвращенного эколого-экономического ущерба лесным экосистемам, отмеченный показатель находится в прямой зависимости от обозначенных затрат и определяется следующим выражением:

$$\begin{cases} Y_{сум}^{общ} = Y_{np}^{общ} - Y_{сум}^{пред} \\ Y_{np}^{общ} = \sum_{k=0}^K Y_k^{общ} \cdot S_k^{np} \\ S^{соxp} = S_k^{np} - S_k^{выг} \\ Y_{сум}^{пред} = S^{соxp} \cdot C_{общ}^{соxp} - \sum_{t=0}^T (Z_{стр} + Z_{охp}) \end{cases} \quad (20)$$

где  $Z_{стр}$  – суммарные затраты на создание и развитие транспортной сети на территории лесного фонда по периодам времени  $t$  плюс необходимость создания дополнительной дорожной сети, руб./га;  $Z_{охp}$  – суммарные затраты, связанные с патрулированием лесной территории, пропагандой, содержанием штата лесной охраны и другими противопожарными мероприятиями, руб./га;  $C_{общ}^{соxp}$  – общая экономическая стоимость сохраненных лесных ресурсов, данная величина определяется показателями, обозначенными в выражении (2), руб./га. Данный показатель можно рассматривать, как планируемую валовую выручку от реализации сохраненных лесных ресурсов;  $S_k^{np}$  – прогнозируемая площадь участка леса с  $l$ -тым лесным ресурсом, пройденная  $k$ -тым пожаром (Данную площадь, нами предлагается, определять посредством метода экспертных

оценок специалистов отрасли и выражению (24). Согласно обозначенному методу  $S_k^{блз}$  – принимается как фактическая площадь, пройденная  $k$ -тым пожаром, которая определена уровнем развития транспортной сети,  $S_k^{np}$  – возможная площадь распространения пожара по территории лесного фонда без учета ТСЛФ), га.;  $S^{соxp}$  – сохраненная площадь участка леса с  $l$ -тым лесным ресурсом, от воздействия  $k$ -того пожара (определяется как разность между прогнозируемой и фактической площадью выгорания территорий лесного фонда), га.;  $Y_{np}^{общ}$  – прогнозируемая величина эколого-экономического ущерба лесным экосистемам, посредством воздействия  $k$ -тых пожаров, руб.;  $Y_{сум}^{пред}$  – величина предотвращенного эколого-экономического ущерба лесным экосистемам, посредством воздействия  $k$ -тых пожаров, руб.

Прогнозная суммарная площадь распространения  $k$ -тых пожаров ( $S_k^{np}$ ) на участках лесного фонда определяется, как математическое ожидание возникновения лесного пожара, согласно выражению (4):

$$\left\{ \begin{array}{l} S_k^{np} = M [k] \\ M [k] = \sum_{t=0}^{\tau} \sum_{k=0}^m R_k \cdot P_k \\ P_k = \frac{[P(A)P(A_w/A) + P(E)P(E_w/E) - P(A)P(E)P(A_w, E_w/A, E)]}{P(LH/H)} \\ R_k = \int_{t_в}^{t_т} (\vartheta \cdot \prod_{g=1}^b g_b) dt \\ \sum_{k=0}^m [t_в; t_т] \in (t; \tau) \end{array} \right. \quad (21)$$

где  $M [k]$  – математическое ожидание возникновения  $k$ -тых пожаров,  $k \in (0, \dots, m)$  га;  $R_k$  – вероятность возникновения  $k$ -того пожара;  $P_k$  – прогнозируемая интенсивность распространения  $k$ -того пожара по территории лесного фонда, га;  $(t; \tau)$  – временной интервал вероятностного возникновения  $k$ -тых пожаров;  $t_в$  – момент времени вероятностного возникновения  $k$ -того пожара;  $t_т$  – момент времени вероятностного тушения  $k$ -того пожара;  $\vartheta$  – прогнозируемая скорость распространения  $k$ -того пожара;  $P(A)$  – вероятность посещения человеком территории лесного фонда;  $P(A_w/A)$  – вероятность наличия источников огня при условии, что лесная территория посещается людьми;  $P(E)$  – вероятность грозы;  $P(E_w/E)$  – вероятность естественного возгорания при условии, что идет гроза;  $P(A_w, E_w/A, E)$  – вероятность совместного действия антропогенного и естественного источника огня при условии, что территория лесного фонда одновременно подвергается посещению людьми и идет гроза.  $P(H)$  следует рассматривать как вероятность причины лесного пожара,  $P(LH/H)$  как вероятность пожара при условии наличия причины возгорания. В аспекте оценивания эколого-экономического ущерба от пожаров лесным экосистемам, так же следует коснуться определения показателя эффективности противопожарных мероприятий, в том числе охраны и защиты лесов. Поскольку данный показатель является результативным и определяет рентабельность капиталовложений инвестирующего предприятия в проект создания и развития ТСЛФ. Учитывая обозначенное обстоятельство,

нами предлагается, эффективность противопожарных мероприятий ( $\text{ЭФ}_n^{\text{пр}}$ ) определять согласно выражению:

$$\text{ЭФ}_n^{\text{пр}} = \frac{U_{\text{сум}}^{\text{пред}}}{Z_{\text{стр}}} \times 100\% \quad (22)$$

При реализации данного методологического аппарата необходимо учитывать ограничения ((5)-(8)), а также: Фактическое оценивание спасенных ресурсов лесных площадей:

$$U_{\text{сум}}^{\text{пред}}(T) \leq C_{\text{общ}}^{\text{сохр}}(T) \quad (23)$$

Данное ограничение не позволяет дублировать оценку в рамках расчета общей экономической стоимости спасенных лесных ресурсов на одной и той же лесной территории в целях избегания превышения сумм сохраненных лесных благ над фактически имеющимися за весь период освоения лесного фонда.

Представленные методологические разработки учитывают многоцелевой характер использования полезных функций леса; отражают динамику лесного фонда и потоковых процессов; обеспечивают вычисление эффективности ТСЛФ посредством качественной и количественной оценки на базе комплексного технико-социо-эколого-экономического критерия. Данные методологические аппараты могут быть использованы, как по отдельности в аспекте оценки конкретных вышеотмеченных показателей эффективности, так и в комплексе при оценке эффективности дорожной составляющей проекта планирования ТСЛФ. Обозначенное обстоятельство обуславливает очевидность возможности разработки комплексной модели, включающей в себя основополагающие элементы общей эффективности (оценка эффективности не только дорожной, но и транспортной составляющих) реализации государственного проекта.

**В пятой главе «Комплексная модель оценки эффективности планирования, создания и развития транспортной сети на территории лесного фонда»** На базе разработанного методологического аппарата в рамках концепции устойчивого управления лесами и лесопользованием разработана комплексная модель оценки эффективности планирования ТСЛФ, обеспечивающая расчет основных показателей технико-эколого-социо-экономических процессов отрасли с учетом принципов системности, параметров технологического уклада, а также характеристик лесотранспортной сети. Комплексный подход, положенный в основу предлагаемой модели, заключается в суммарном учете при планировании лесотранспортной сети на территории лесного фонда дорожной составляющей (оценка рациональности создания и развития ТСЛФ) и транспортной составляющей (оценка эффективности эксплуатации планируемой ТСЛФ). Комплексная оценка эффективности планирования ТСЛФ определяется отношением квадрата прогнозной фактической величины ресурсного потенциала, скорректированной на возможное негативное влияние лесных пожаров к суммарным капитализированным затратам, связанным: со строительством и эксплуатацией ТСЛФ; реализацией главного и побочного лесопользования; проведением лесовосстановительных и противопожарных мероприятий по этапам освоения

территории лесного фонда. Целевой функционал, определяющий указанную оценку за весь период освоения лесного фонда, представляет собой, стремящуюся к единице среднегеометрическую величину от эффективностей ТСЛФ, последовательно рассчитанных по этапам освоения.

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathcal{E}_l^k(T) = \sqrt[n]{\prod_{t=0}^{t_n} \lim_{R(t) \rightarrow 1} \frac{\Pi_\phi^{t^2} \cdot K^{np}(t) \cdot (t+1)^2}{(S_{cmp}^2(t) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K S_{mp}(t)) \cdot \sum_{l=1}^L \sum_{d=1}^D S_{lv}^2(t) \cdot t^2}} \\ \mathcal{E}_l^k(t) = \lim_{R(t) \rightarrow 1} \frac{\Pi_\phi^{t^2} \cdot K^{np}(t) \cdot (t+1)^2}{(S_{cmp}^2(t) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K S_{mp}(t)) \cdot \sum_{l=1}^L \sum_{d=1}^D S_{lv}^2(t) \cdot t^2} \\ \Pi_\phi(t+1) = \frac{\Pi_\phi(t+1)}{(1+e)^t} \cdot \left(1 + \frac{1}{(1+e)^{(t+1)}}\right) \rightarrow \max \\ K^{np}(t) = \frac{B_{вал}^t - \sum_{r=1}^R \Pi^c}{B_{вал}^t} \\ \mathcal{E}_l^k(T) = \sqrt[n]{\prod_{t=0}^{t_n} \mathcal{E}_l^k(t)} \rightarrow 1 \\ T = \sum_{t=0}^{t_n} t \end{array} \right. \quad (24)$$

где  $\mathcal{E}_l^k(t)$  – эффективность планирования лесной транспортной сети, на временной интервал  $t$ ;  $B_{вал}^t$  – суммарная капитализированная валовая выручка от многоцелевого лесопользования, на временной интервал  $t$ , руб./га;  $\Pi_\phi^t$  – прогнозируемая величина фактической прибыли от многоцелевого лесопользования, на временной интервал  $t$ , руб./га;  $R$  – рентабельность инвестирующего в проект предприятия, на временной интервал  $t$ ;  $K^{np}(t)$  – коэффициент коррекции фактической прибыли от многоцелевого лесопользования на возможный ущерб лесным экосистемам от воздействия  $r$ -тых пожаров,  $r \in [1, \dots, R]$ ;  $S_{mp}(t)$  – транспортные расходы на вывозку при заготовке объема запаса  $l$ -той породы ( $d$ -того ресурса) с  $i$ -того гектара на  $j$ -тый склад (прирельсовый участок, потребителю),  $k$ -тым типом транспорта, руб./га, на момент времени  $t$ ,  $l \in [1, \dots, L]$ ,  $d \in [1, \dots, D]$ ,  $i \in [1, \dots, m]$ ,  $j \in [1, \dots, n]$ ;  $S_{lv}(t)$  – нормативные затраты на воспроизводство  $l$ -той породы ( $d$ -того ресурса), гарантирующие ее (его) восстановление как на вырубках, так и после лесных пожаров, выращивание до возраста зрелости, охрану и защиту, руб./га., на временной интервал  $t$ ;  $S_{cmp}(t)$  – включает в себя: затраты на создание ТСЛФ на временной интервал  $t$ , затраты на эксплуатацию ТСЛФ в период времени  $t$ , стоимость дорожно-строительных материалов, полуфабрикатов, конструкций и изделий, транспортные расходы на доставку материалов и рабочих и прочие затраты, связанные со строительством и эксплуатацией транспортной сети на территории лесного фонда, руб./га. При реализации предложенной нами математической модели следует учитывать ограничения по методологическим аппаратам, представленным в четвертой главе настоящего исследования.

Предлагаемая математическая модель включает в себя оптимизацию транспортной составляющей в области эксплуатационных издержек в рамках показателя ( $S_{mp}$ ). В этой связи разработаны методологические аппараты

рациональной организации, как процесса вывозки лесных ресурсов, так и доставки сил и средств пожаротушения к очагу возгорания при возникновении лесного пожара, соответственно, с учетом уровня развития ТСЛФ. Эффективность использования подвижного состава на вывозке древесного сырья с учетом уровня развития транспортных сетей на территории лесного фонда ( $\mathcal{E}\phi^{mp}$ ) в интервал времени  $t$  определяется отношением суммарной производительности лесовозных автопоездов в стоимостном выражении, занятых на вывозке древесины к суммарной стоимости машино-смены, согласно выражению (25):

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathcal{E}\phi^{mp}(t) = \frac{P_c^{cym}(t)}{C_{mc}^{cym}(t)} \times 100\% \\ P_c^{cym}(t) = P_n^{cym}(t) \times C_{cp} \rightarrow \max \end{array} \right. \quad (25)$$

где  $P_c^{cym}(t)$  – суммарная производительность лесовозных автопоездов в стоимостном выражении, занятых на вывозке древесины за машино – смену в интервал времени  $t$ ,  $t \in [0, \dots, T]$ , руб.;  $P_n^{cym}(t)$  – суммарная производительность лесовозных автопоездов в натуральном выражении, занятых на вывозке древесины за машино – смену в интервал времени  $t$ ,  $t \in [0, \dots, T]$ , м<sup>3</sup>;  $C_{cp}$  – средневзвешенная цена древесного сырья, руб. за м<sup>3</sup>;  $C_{mc}^{cym}(t)$  – суммарная стоимость машино-смены в интервал времени  $t$ , руб. Суммарную производительность лесовозных автопоездов, занятых на вывозке древесины за машино – смену в интервал времени  $t$ , нами предлагается вычислять, согласно выражению:

$$P_n^{cym}(t) = \sum_{t=0}^T \sum_{k=1}^K \left( \frac{(T_c - t_{лнз}) \cdot K_g \cdot Q_{лл} \cdot K_{эф}}{120 \left( \frac{l_m}{v_{лм} \cdot \prod_{k_c=1}^K k_c} + \frac{l_g}{v_{лв} \cdot \prod_{k_c=1}^K k_c} + \frac{l_y}{v_{лу} \cdot \prod_{k_c=1}^K k_c} \right) + t_{лпр}} + \frac{((T_c - t_{лнз}) - t_{мнз} - t_{неп}) \cdot K_g \cdot Q_{мл} \cdot (1 - K_{эф})}{120 \left( \frac{l_m}{v_{тлм} \cdot \prod_{k_c=1}^K k_c} + \frac{l_g}{v_{тлв} \cdot \prod_{k_c=1}^K k_c} + \frac{l_y}{v_{тлу} \cdot \prod_{k_c=1}^K k_c} \right) + t_{тпр}} \right) \quad (26)$$

где  $T_c$  – продолжительность рабочей смены, мин;  $t_{лнз}$ ,  $t_{мнз}$  – подготовительно-заключительное время за смену, соответственно, для легких и тяжелых автопоездов, мин;  $K_g$  – коэффициент использования рабочего времени;  $Q_{лл}$ ,  $Q_{мл}$  – полезная нагрузка на легкий и тяжелый автопоезд, соответственно, м<sup>3</sup>;  $l_m$ ,  $l_g$ ,  $l_y$  – среднее расстояние вывозки древесины, соответственно, по магистрали, ветке и усу, км;  $v_{лм}$ ,  $v_{лв}$ ,  $v_{лу}$ ,  $v_{тлм}$ ,  $v_{тлв}$ ,  $v_{тлу}$  – среднетехнические скорости движения легких и тяжелых лесовозных автопоездов, соответственно, по магистрали, ветке и усу, км/ч;  $t_{неп}$  – время на перегрузку древесины с легких на тяжелые автопоезда, мин;  $t_{лпр}$ ,  $t_{тпр}$  – время простоя под погрузкой-разгрузкой, соответственно, для легких и тяжелых автопоездов, мин;  $K_{эф}$  – коэффициент эффективности плеча вывозки древесины легким и тяжелым транспортом, соответственно. Данный коэффициент определяется отношением расстояния использования легкого или тяжелого транспорта леса к общему расстоянию вывозки. Указанный коэффициент находится в прямой зависимости от почвенно-грунтовых условий и условий увлажнения, характеризующих тип леса и влияющих на затраты на строительство дороги и



эксплуатационные затраты на вывозку древесины. Определяется на интервале от 0 до 1;  $k$  – тип подвижного состава,  $k \in [1, \dots, K]$ ;  $\prod_{k_c=1}^K k_c$  – рассматривается нами, как влияние факторов снижающих скорость лесовозных автопоездов.

Ограничениями математической модели являются:

1. Соответствие скоростей легких и тяжелых автопоездов нормативным требованиям.

2. Если коэффициент  $K_{эф} = 0$ , то транспортировка древесины будет производиться с использованием одноступенчатой технологии вывозки древесины, транспортом тяжелого типа. Тогда выражение (26) будет иметь следующий вид (27):

$$P_H^{сум}(t) = \sum_{t=0}^T \sum_{k=1}^K \left( \frac{(T_c - t_{мнз}) \cdot K_6 \cdot Q_{мл}}{120 \left( \frac{l_m}{v_{мм} \cdot \prod_{k_c=1}^K k_c} + \frac{l_6}{v_{м6} \cdot \prod_{k_c=1}^K k_c} + \frac{l_y}{v_{мы} \cdot \prod_{k_c=1}^K k_c} \right) + t_{мнр}} \right) \quad (27)$$

3. Если коэффициент  $K_{эф} = 1$ , то транспортировка древесины будет производиться с использованием одноступенчатой технологии вывозки древесины, транспортом легкого типа. Вследствие отмеченного условия выражение (26) принимает следующий вид (28):

$$P_H^{сум}(t) = \sum_{t=0}^T \sum_{k=1}^K \left( \frac{(T_c - t_{лнз}) \cdot K_6 \cdot Q_{лл}}{120 \left( \frac{l_m}{v_{лм} \cdot \prod_{k_c=1}^K k_c} + \frac{l_6}{v_{л6} \cdot \prod_{k_c=1}^K k_c} + \frac{l_y}{v_{лы} \cdot \prod_{k_c=1}^K k_c} \right) + t_{лнр}} \right) \quad (28)$$

4. Естественное снижение среднетехнических скоростей лесовозных автопоездов:

$$\prod_{k_c=1}^K k_c \geq 0 \quad (29)$$

5. Транспортная доступность лесоучастков:  $l_m + l_6 + l_y \leq L_{доств}$  (30)

6. Естественная не отрицательность грузопотоков:

$$Q_{лл}, Q_{мл}(t) \geq 0; t = 0, \dots, T; k = 1, \dots, K. \quad (31)$$

В таблице 1 представлена методология определения наиболее эффективной технологической схемы вывозки древесного ресурса в зависимости от расстояния вывозки (на базе коэффициента соотношения расстояний вывозки) и почвенно-грунтовых, а также гидрологических условий региона.

Таблица 1 – Зависимость технологических схем вывозки лесных ресурсов от природно-производственных условий региона

Расстояние вывозки	$L \leq 30$		$30 < L < 90$		$L > 90$	
Технологические схемы вывозки	2		3		4	
1	+	-	+	-	-	-
Одноступенчатая технология вывозки, $K_{эф} = 0$ ; Транспортировка древесины осуществляется транспортом тяжелого типа	+	-	+	-	-	-
Одноступенчатая технология вывозки $K_{эф} = 1$ ; Транспортировка древесины осуществляется транспортом легкого типа	Использование возможно, но снижается производительность подвижного состава на вывозке		-	-	-	-

Продолжение таблицы 1

1	2		3		4	
Двухступенчатая технология вывозки $0 < K_{эф} < 1$ Транспортировка древесины осуществляется в два этапа: на первом этапе используется транспорт легкого типа, на втором – тяжелого.	-	+	-	+	+	+
Почвенно-грунтовые и гидрологические условия	Легкие	Сложные	Легкие	Сложные	Легкие	Сложные

Из данных таблицы 1 следует, что при небольшом расстоянии вывозки древесины и легких грунтово-гидрологических условиях целесообразным решением является использование одноступенчатой технологии вывозки древесины с применением на вывозке тяжелых автопоездов, так как в этом случае перегрузка на другой тип транспорта является экономически невыгодной. При увеличении расстояния вывозки целесообразным решением является использование многоступенчатой технологии вывозки древесины. При побочном лесопользовании нами предлагается использование одноступенчатой технологии вывозки лесных ресурсов. Разработанная модель обладает гибкостью позволяющей ее использование в различных вариантах сопряжения природно-климатических, почвенно-грунтовых и технологических факторов.

Также в аспекте оптимизации транспортной составляющей нами предлагается метод оценки эффективности доставки сил и средств пожаротушения с учетом уровня развития ТСЛФ, в основу которого положена разработанная в работе математическая модель. Эффективность доставки сил и средств пожаротушения с учетом уровня развития транспортных сетей на территории лесного фонда ( $\mathcal{E}\phi^{nm}$ ) в интервал времени  $t$  пожароопасного сезона определяется отношением фактического времени доставки спецтехники и пожарных бригад к очагу возгорания к нормативному времени доставки сил и средств пожаротушения, согласно выражению (32):

$$\mathcal{E}\phi^{nm}(t) = \lim_{t_{факт} \rightarrow 0} \frac{t_{факт}(t)}{t_{норм}(t)} \times 100\% \quad (32)$$

где  $t_{факт}(t)$  – фактическое время доставки спецтехники и пожарных бригад к очагу возгорания, в интервал времени  $t$ ,  $t \in [0, \dots, T]$ , ч.;  $[0, \dots, T]$  – период пожароопасного сезона;  $t_{норм}(t)$  – нормативное время доставки людей и спецтехники, которое не должна превышать 3 часа. В случае если бригада не успевает прибыть в течение 3 часов на место пожара, то подключается помощь с воздуха. При ветре более 5 м/с нормативное время должно быть сокращено в 2 раза. Если нет возможности сократить это время, то пропорционально увеличивается количество бригад и техники.

Таким образом, фактическое время доставки спецтехники к очагам возгораний в интервал времени  $t$ , нами предлагается вычислять, согласно выражению (33):

$$t_{факт}(t) = \sum_{t=0}^T \sum_{k=1}^K \frac{t_{норм}(t)}{\frac{l_m}{v_m \cdot \prod_{k_c=1}^K k_c} + \frac{l_b}{v_b \cdot \prod_{k_c=1}^K k_c} + \frac{l_y}{v_y \cdot \prod_{k_c=1}^K k_c} + \frac{l_u}{v_u \cdot \prod_{k_c=1}^K k_c} + \frac{l_n}{v_n \cdot \prod_{k_c=1}^K k_c}} \quad (33)$$

где  $l_m, l_g, l_y$  – расстояние доставки спецтехники и пожарных бригад, соответственно, по магистрали, ветке и усу, км;  $l_u$  – расстояние от пожарного пункта до границы лесничества, км;  $l_n$  – расстояние по пересеченной местности (пешее), км;  $v_m, v_g, v_y$  – среднетехнические скорости движения спецтехники, соответственно, по магистрали, ветке и усу, км/ч;  $v_u$  – скорость движения спецтехники от пожарного пункта до границы лесничества, км/ч;  $v_n$  – скорость спец. бригад и пожаротушащей техники по пересеченной местности (пешая), принимается, принимается 4 км/ч;  $k$  – тип спецтехники,  $k \in [1, \dots, K]$ .

Математическая модель характеризуется следующими ограничениями:

1. Соответствия фактического времени прибытия спецтехники и пожарных бригад к очагу возгорания, принятого в нормативах.  $t_{факт}(t) \leq t_{норм}(t)$  (34)

2. Достаточного уровня развития транспортной сети на территории лесного фонда:

$$\begin{cases} l_n^{расч}(t) = \frac{(t_{норм}(t) \cdot (t_m(t) + t_g(t) + t_y(t) + t_u(t) - t_{норм}(t))) \cdot v_n}{t_{норм}(t)} \\ l_n^{факт}(t) \leq l_n^{расч}(t) \end{cases} \quad (35)$$

где  $t_m(t), t_g(t), t_y(t), t_u(t)$  – фактическое время движения спецтехники и пожарных бригад по магистрали, ветке, усу и от пожарного пункта до границы лесничества, соответственно, ч;  $l_n^{расч}(t)$  – предельно допустимое расчетное расстояние движения спецтехники и пожарных бригад по пересеченной местности (пешее), км;  $l_n^{факт}(t)$  – фактическое расстояние движения спецтехники и пожарных бригад по пересеченной местности (пешее), км. Если условие  $l_n^{факт}(t) \leq l_n^{расч}(t)$  не выполняется, очевидно, что доставка спецтехники и пожарных бригад не укладывается в нормативное время при существующей сети дорог. Следовательно, необходимо строительство дополнительных лесных дорог лесохозяйственного назначения, благодаря которым будет обеспечиваться доставка сил и средств пожаротушения в нормативное время в отдаленные места. Данный метод позволяет определить необходимость проектирования дополнительных лесных дорог лесохозяйственного назначения, благодаря которым будет обеспечиваться доставка сил и средств пожаротушения в нормативное время в отдаленные места. Таким образом, предлагаемая к использованию модель обеспечивает расчет комплексного технико-эколого-социо-экономического эффекта от реализации проекта планирования ТСЛФ на базе качественно-количественного критерия оптимальности принятия инженерных решений.

**В шестой главе «Экспериментальное обоснование модели определения эффективности планирования лесной транспортной сети на базе комплексного подхода»** В целях верификации модели определения эффективности планирования ТСЛФ на базе комплексного подхода был проведен расчетно-вычислительный эксперимент. В качестве пилотных территорий, в целях чистоты производства отмеченного эксперимента были выбраны лесничества различные по: природно-производственным условиям; параметрам существующей лесотранспортной сети; характеристикам ведения

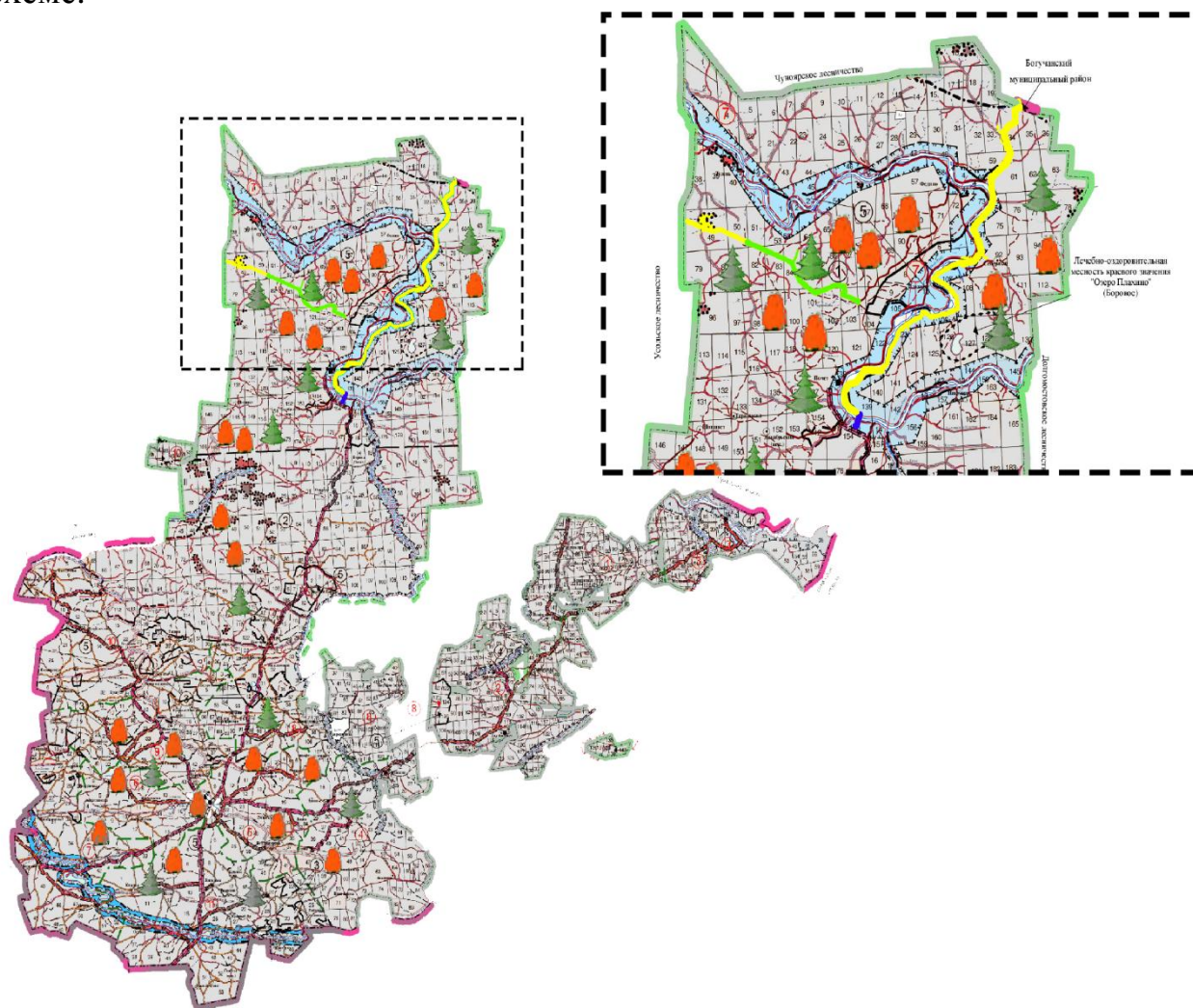
хозяйственной деятельности. В таблице 2 представлены основные характеристики субъектов лесного хозяйства.

Таблица 2 – Основные характеристики субъектов лесного хозяйства




Показатель	Общая площадь лесничества, га	Площадь, занятая эксплуатационными лесами га	Площадь, занятая под побочное лесопользование га	Средняя площадь, пройденная лесными пожарами, га/год	Средняя площадь, искусственно восстановленных лесных территорий, га/год	Протяженность, существующий ТСЛФ, км		Плотность, существующей ТСЛФ км/100 га	Комплексная эффективность, существующей ТСЛФ, %
						всего	Кругло годового действия		
Абанское лесничество	422827	355153	26416	7375,65	33,8	1335	566	3,2	15,4
Богучанское лесничество	288618	235407	29723	2556,7	22,6	744	139	2,6	5,4
Манское лесничество	519444	308299	38408	575	34,6	2640	547	5,1	32,33

Посредством разработанного методологического аппарата произведена оценка комплексной эффективности существующих ТСЛФ [см. табл. 2]. Из полученных значений данной оценки, можно сделать вывод, что комплексная эффективность существующих транспортных сетей по субъектам лесного хозяйства довольно мала. На сегодняшний день объекты транспортной структуры лесничеств находятся в состоянии упадка и требуют проведения реконструкции, ухода или обновления. Достижение максимума продуктивности данных лесных территорий возможно при дальнейшем развитии сети лесных дорог, включая и дороги противопожарного назначения. В этой связи, так же посредством предлагаемого методологического аппарата, нами были разработаны проекты развития транспортных сетей на территориях лесного фонда по субъектам лесного хозяйства. В целях реализации данных проектов были составлены разработческие карты-схемы (фрагмент разработки представлен рисунком 1), на которых отмечены прогнозируемые очаги возгораний на территориях лесных земель, а также участки лесного фонда по таксационным данным, занятые ценными породами. Прогнозирование возможных очагов возгораний осуществлялось согласно предлагаемому методологическому аппарату, статистические данные для расчета прогноза взяты за шестидесятилетний период. Далее, на основе экспертной оценки, расчетным путем осуществлен перебор различных вариантов развития ТСЛФ на территориях лесного фонда в целях выбора наиболее оптимального с точки зрения рациональности эксплуатации планируемой лесной дороги в аспекте многоцелевого лесопользования (наличие ценных древесных пород, технология лесосечных работ и вывозки древесины, возможность развития побочного лесопользования, возможность эффективного пожаротушения и производства лесовосстановительных мероприятий в отдаленных местах лесничества, а также

с учетом финансовых возможностей субъектов лесного хозяйства). Оптимальный вариант планирования развития ТСЛФ также указан на карте-схеме.



### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

-  Ценные породы
-  Очаг возгорания
-  Паромная переправа
-  Реконструкция дороги
-  Строительство дороги

#### Границы

Областей, округов	Муниципальных районов	Лесничество	ДОРОГИ		ЛЕСНЫЕ ДОРОГИ				
			Автомобильные	Железные	Грунтовые улучшенные	Лесные	Зимники	Лесовозные	Грунтовые с покрытием
									





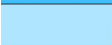

	Леса, расположенные в водоохранных зонах
	Защитные полосы лесов, расположенные вдоль железнодорожных путей и автомобильных дорог
	Орехово-промысловые зоны
	Запретные полосы лесов, расположенные вдоль водных объектов
	Нерестоохраняемые полосы лесов
	Эксплуатационные леса

Рисунок 1 – Разработоческая карта-схема планирования развития ТСЛФ в Абанском лесничестве

На рисунке 2 представлен фрагмент полученных в ходе эксперимента результативных значений оценки комплексной эффективности планируемой лесной дороги по этапам освоения лесного фонда в Абанском лесничестве в натуральных показателях.

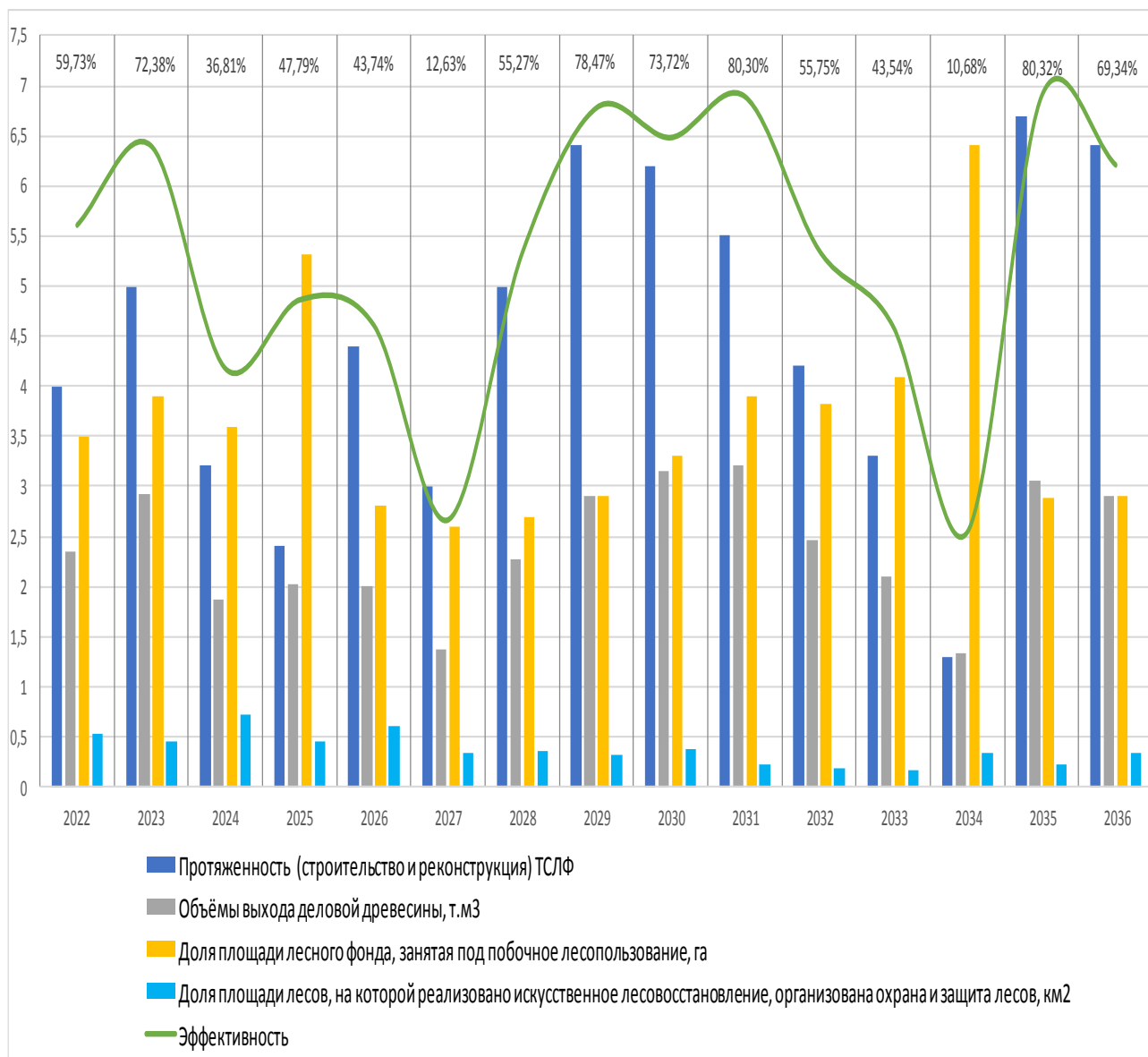


Рисунок 2 – Оценка комплексной эффективности планируемых лесных дорог в Абанском лесничестве

Касательно оценки комплексной эффективности планируемых лесных дорог следует пояснить, что колебания кривой, определяющей изменение указанного показателя по периодам освоения территорий лесного фонда, связаны с естественной неравномерностью реализации лесоинженерных и лесохозяйственных мероприятий (ограничения в рамках главного лесопользования, неравномерность наличия деловой древесины по гектарам и т.п.). В таблице 3 представлен расчет эффекта от планирования развития ТСЛФ и оценка комплексной эффективности ТСЛФ лесничеств с учетом планируемых лесных дорог.

Таблица 3 – Результативные значения оценки комплексной эффективности планирования развития ТСЛФ по субъектам лесного хозяйства

Показатель	Эффективность реализации противопожарных мероприятий $\text{Эф}_п^{\text{пр}}(T), \%$	Эффективность реализации лесовосстановительных мероприятий $\text{Эф}_п^{\text{л}}(T), \%$	Эффективность использования ресурсного потенциала $\text{Эф}_п(T)$		Комплексная эффективность планирования развития ТСЛФ $\text{Эф}_л^{\text{к}}(T), \%$
			Эффективность главного лесопользования, %	Эффективность побочного лесопользования, %	
Абанское лесничество	39,30	23,13	26,79	46,67	34,01
Богучанское лесничество	33,20	35,08	9,57	2,19	10,50
Манское лесничество	43,40	33,00	50,68	12,50	55,33

Результативные значения показателей, определяющих эффективность планирования развития ТСЛФ в аспекте транспортной составляющей по отношению к существующим транспортным сетям, приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результативные значения оценки эффективности планирования ТСЛФ в аспекте транспортной составляющей

Показатель	$\Delta \text{Эф}^{\text{пт}}, \%$ (по отношению к существующей ТСЛФ)	$\Delta \text{Эф}^{\text{тр}}$ (по отношению к существующей ТСЛФ)		
		Рекомендуемая технологическая схема вывозки	* Рекомендуемая схема функционирования транспортно-технологического процесса	Значение показателя, %
Абанское лесничество	+ 33,21	Главное лесопользование- <i>двухступенчатая</i>	$\begin{cases} \text{Л} \rightarrow \text{П} \\ \text{Л} \rightarrow \text{Н/С} \rightarrow \text{П} \\ \text{Л} \rightarrow \text{П/С} \rightarrow \text{П} \end{cases}$	+ 24,49
Богучанское лесничество	+ 30,15		Побочное лесопользование- <i>одноступенчатая</i>	$\begin{cases} \text{Л} \rightarrow \text{Н/С} \rightarrow \text{П} \\ \text{Л} \rightarrow \text{П/С} \rightarrow \text{П} \end{cases}$
Манское лесничество	+ 37,4			$\begin{cases} \text{Л} \rightarrow \text{П} \\ \text{Л} \rightarrow \text{П/С} \rightarrow \text{П} \end{cases}$

\*Л - лесосека; П - потребитель; Н/С - нижний склад; П/С - промежуточный склад.

Исходя из результативных значений, наблюдается стойкое повышение эффективности реализации лесоинженерных и лесохозяйственных мероприятий посредством планирования лесных дорог: главного лесопользования на 29,01%, побочного (разрешенного) лесопользования на 20,45%, противопожарных мероприятий на 38,63 %, лесовосстановительных мероприятий на 30,4%. Приведенные значения показателей, входящих в оценку комплексной эффективности планирования ТСЛФ, являются усредненными, так как они различны в зависимости от природно-производственных условий региона и варьируются в диапазоне от 2,19 % до 50,68%. Данные значения указывают на наличие положительного влияния от планируемых лесных дорог на эффективность ТСЛФ в целом по субъектам лесного хозяйства. Значение показателя оценки комплексной эффективности ТСЛФ с учетом планируемых лесных дорог варьируется в диапазоне от 10,5 %

до 55,33%, и указывают на: прирост объемов выхода деловой древесины и доли побочного лесопользования, увеличение искусственно восстановленных площадей лесного фонда, повышение качества реализации мероприятий по охране и защите лесов. Экспериментальные расчеты показали, что посредством применения предлагаемого математического аппарата достигается повышение эффективности: использования подвижного состава на вывозке лесных ресурсов на 28,6%; доставки сил и средств реализации лесохозяйственных мероприятий на 33,59%. Значения данных показателей в аспекте оценки эффекта по ТСЛФ лесничеств в целом варьируется в диапазоне от 24,49 % до 37,4 % и от 44,25 % до 52,51 % в зоне тяготения планируемых лесных дорог. Данные значения показывают долю эффекта от выбора рациональной транспортно-технологической схемы использования подвижного состава в оценке комплексной эффективности, как ТСЛФ лесничеств в целом, так и планируемых лесных дорог в частности. Также посредством расчета эффективности существующих ТСЛФ получена сходимости теоретических положений с практическими результатами, погрешность расчетов составила менее 7%, что доказывает непротиворечивость, гибкость, возможность получения результативных данных с малой погрешностью и универсальность разработанного методологического аппарата. Таким образом, результаты, полученные в ходе практической реализации разработанной методологии, подтверждают адекватность теоретических положений настоящего исследования.

**Основные выводы и рекомендации** Теоретические и экспериментальные исследования по теме диссертации позволили сформулировать следующие выводы и рекомендации производству.

**Выводы:**

1. Разработанная методология и комплексная математическая модель оценки эффективности планирования ТСЛФ дают возможность, как администрации субъектов лесного хозяйства, так и лесопользователям осуществлять рациональное планирование лесных дорог круглогодичного действия в аспекте многоцелевого лесопользования на базе качественно-количественного критерия оптимальности принятия инженерных решений.

2. Предложенная математическая модель призвана обеспечить рациональность транспортно-технологических схем вывозки лесного ресурса и проведения лесовосстановительных мероприятий с учетом природно-климатических и почвенно-грунтовых факторов, а также обосновать положение перегрузочного пункта в условиях использования многоступенчатой технологии вывозки древесины.

3. Разработанная математическая модель позволяет оценить уровень развития лесотранспортной сети и определить необходимость строительства или реконструкции лесных дорог, благодаря которым: будет обеспечено вовлечение в производственный процесс новых лесных массивов, что позволит повысить эффективность использования расчетной лесосеки (среднегодовой прирост эффективности главного лесопользования в количественном выражении в среднем составит 45 тыс. м<sup>3</sup>); будет обеспечиваться выполнение



планов по санитарным рубкам, лесовосстановлению, мониторингу за популяционным ростом и оперативной борьбе с вредителями (ожидаемый рост повышения объёма и качества лесохозяйственных мероприятий составит 60-70%).

4. Разработанная математическая модель позволяет оценить уровень развития противопожарных лесных дорог и определить необходимость проектирования дополнительных лесных дорог лесохозяйственного назначения, благодаря которым будет обеспечиваться доставка сил и средств пожаротушения в нормативное время в отдаленные места. Повышение эффективности пожаротушения, в условиях наличия лесных дорог противопожарного назначения, достигается за счет увеличения скорости доставки сил и средств пожаротушения до очага горения в среднем, в зависимости от расстояния доставки, с 4 км/ч до 8 км/ч, что сокращает время прибытия пожарных бригад и спецтехники к очагу горения в среднем с 3 часов до 2,25 часа (положительным эффектом является сокращение времени прибытия сил и средств пожаротушения к очагу горения в среднем на 45 минут), что обеспечивает снижение площади распространения лесных пожаров.

5. Разработанный методологический аппарат дает возможность комплексно оценить ущерб лесным экосистемам от природных катастроф путем формирования совокупности натуральных показателей природных благ до и после катастроф (пожаров); осуществить оценку вероятности возникновения лесных пожаров с точностью до 75-80%, разработку рациональных стратегий их предотвращения и создание оптимальных резервов (на базе расчета эколого-экономического ущерба лесным экосистемам с учетом создания и развития транспортной сети на территории лесного фонда), достаточных для устранения последствий лесных пожаров, которые не были предупреждены и произошли.

6. Предлагаемая методология позволяет объективно определить результаты хозяйственной деятельности как лесопользователей, так и представителей органов управления лесным хозяйством.

7. Предлагаемая методологическая разработка дает возможность выполнить корректный расчет суммарных затрат на создание и развитие транспортной сети на территории лесного фонда и величину возможной фактической прибыли от многоцелевого лесопользования с учетом общего технико-эколого-социально-экономического эффекта от реализации государственного проекта.

8. Решение проблемы достаточного уровня развития лесотранспортной сети на территории лесного фонда страны позволит добиться России признания поглощения дополнительных тонн углекислого и парникового газов на переговорах по климату, поскольку, согласно действующим правилам, в этот зачёт включают только регулируемые леса, информация по которым должна быть открыта и доступна для верификации.

Таким образом, разработанный методологический аппарат планирования лесотранспортной сети обеспечивает комплексную оценку эффективности ТСЛФ, в результате определения компромиссного оптимума в рамках противоречивости технологической, экономической, социальной и

экологической эффективности ТСЛФ в их сопряжении при решении инженерных задач, направленных на достижение использования максимума продуктивности лесных земель посредством рационального проектирования лесных дорог с учетом принципов устойчивого развития территорий.

**Рекомендации:**

1. Предложенный в работе методологический аппарат рекомендуется к использованию в качестве базового инструмента для комплексной оценки эффективности планирования лесных дорог круглогодичного действия на территориях лесных земель, как на уровне отдельных лесничеств, так и на региональном и федеральном уровнях.

2. В целях обоснования технологических схем на вывозке древесных ресурсов рекомендуется практическое использование предложенного в работе математического аппарата. Также рекомендуется при легких почвенно-грунтовых и гидрологических условиях применять одноступенчатую технологию вывозки древесины с использованием тяжелого транспорта леса, так как при использовании легкого транспорта снижается производительность подвижного состава. На вывозке ресурсов побочного лесопользования рекомендуется применять одноступенчатую технологию с использованием легкого транспорта. Двухступенчатую технологическую схему вывозки древесины рекомендуется применять: в тяжелых почвенно-грунтовых и гидрологических условиях при любом значении показателя плеча транспортировки; при любых почвенно-грунтовых и гидрологических условиях, если среднее расстояние вывозки превышает 90 км.

3. Применение математической модели оценки эффективности использования подвижного состава на вывозке древесного сырья в аспекте обоснования рационального места расположения перегрузочного пункта рекомендуется при применении лесозаготовителями двухступенчатой технологии вывозки древесины.

4. При планировании дорог противопожарного назначения рекомендуется применение математической модели оценки эффективности доставки сил и средств пожаротушения в совокупности с методологической разработкой прогнозирования возможного местонахождения очагов возгораний, в целях рационального расположения планируемых дорог в лесном массиве.

5. Разработанный методологический аппарат рекомендуется применять в целях расчета: окупаемости капитальных вложений в проект планирования лесотранспортной сети; размера платы за перевод лесных земель в нелесные; размера платежей за пользование лесным фондом; величины ресурсного потенциала территорий лесного фонда.

**Основное содержание диссертации изложено в следующих публикациях:**

**В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России**

1. Метод оценки эколого-экономического ущерба от пожаров лесным экосистемам с учетом планирования и создания лесотранспортных систем/ Р.Н. Ковалев, И.М. Еналеева-Бандура, А.Н. Баранов, Н.Н. Шишоркин // Системы. Методы. Технологии. 2021, № 4 (52). С. 73-78.

2. Математическая модель оценки эффективности планирования создания и развития лесной транспортной сети на базе комплексного подхода / Р.Н. Ковалев, И.М. Еналеева-Бандура, А.Н. Баранов, А.Н. Чемоданов // Научно-технический и производственный журнал «Деревообрабатывающая промышленность». 2021, №4. С. 23-30.

3. Математическая модель определения оптимального месторасположения лесных пожарно-химических станций с учетом уровня развития транспортных сетей на территории лесного фонда/ Р.Н. Ковалев, И.М. Еналеева-Бандура, А.Н. Баранов, О.И. Григорьева, И.В. Григорьев // «Resources and Technology». 2021, № 4, Т. 18. С. 77-92.

4. Математическая модель определения эффективности доставки сил и средств пожаротушения с учетом уровня развития транспортной сети на территории лесного фонда/ Р.Н. Ковалев, И.М. Еналеева - Бандура, А.Н. Баранов, О.И. Григорьева, И.В. Григорьев // Системы. Методы. Технологии.2021, № 4 (52). С. 57-62.

5. Ковалев Р.Н., Еналеева-Бандура И.М., Никончук А.В. Оценка влияния пожаров на лесные экосистемы с учетом уровня развития лесотранспортной сети // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. № 4 (382). 2021. С. 131-149.

6. Математическая модель оценки эффективности лесопользования с учетом уровня развития транспортной сети на основе комплексного подхода / Р.Н. Ковалев, И.М. Еналеева-Бандура, А.Н. Баранов, А.А. Иванов, В.А. Никифорова // Системы. Методы. Технологии. 2020, № 4(48). С.151-155.

7. Интегральная математическая модель оценки эколого-экономического ущерба от пожаров с учетом уровня развития транспортной сети / Р.Н. Ковалев, И.М. Еналеева-Бандура, А.Н. Баранов, В.А. Иванов, С.А. Чжан // Системы. Методы. Технологии. 2020, № 4(48). С.156-161.

8. Ковалев Р.Н., Еналеева-Бандура И.М. Метод эффективного планирования суммарных затрат на создание и развитие лесотранспортных систем с учётом принципов устойчивого развития территорий // Хвойные бореальной зоны. 2019. Т. XXXVII, № 6. С. 455-459.

9. Еналеева-Бандура И.М., Давыдова А.Л. Динамическая модель прогнозирования эффективности функционирования лесотранспортных систем // Хвойные бореальной зоны. 2019. Т. XXXVII, № 2. С.144-148.

10. Ковалев Р.Н., Еналеева-Бандура И.М. Метод прогнозирования фактической прибыли от многоцелевого лесопользования с учетом создания и развития лесотранспортных систем на территории лесного фонда // Хвойные бореальной зоны. 2019. Т. XXXVII, № 5. С. 347-352.

11. Еналеева-Бандура И.М., Давыдова А.Л. Логистико-математическая модель транспортно-технологического процесса поставки лесного сырья в условиях смешанных перевозок // Хвойные бореальной зоны. 2019. Т. XXXVII, № 2. С. 149-153.

12. Еналеева-Бандура И. М., Данилов А. Г. Динамическая модель транспортно – технологического процесса поставки лесного сырья в многоиндексной постановке // Хвойные бореальные зоны. 2018. Том XXXVI, № 2. С. 172-176.

13. Еналеева-Бандура И. М., Данилов А. Г. Моделирование эффективной складской сети предприятий лесной отрасли // Хвойные бореальные зоны. 2018. Том XXXVI, № 3. С. 248-252.

14. Динамическая модель транспортно-технологического процесса доставки лесного сырья в многопродуктовой постановке / И. М. Еналеева-Бандура, А.Г.

Данилов, А.В. Никончук А.Л. Давыдова // Хвойные бореальные зоны. 2017. Том XXXV, № 1-2. С. 84-87.

### **Публикации, размещенные в МБД Scopus и Web of Science:**

15. Kovalev R.N., Enaleeva-Bandura I.M., Parshina V.S. Dynamic model for the assessment of the forest management efficiency taking into account the development of the transport network // AIP CONFERENCE PROCEEDINGS. SCIENTIFIC CONFERENCE ON RAILWAY TRANSPORT AND ENGINEERING (RTE 2021). 2021. - С. 100027. URL: <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/5.0064418>.

16. R N Kovalev, V. I., Enaleeva-Bandura, I. M., Vasilijev. Mathematical model of transport network planning on the territory of the forest fund // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 918(2020) 012048. URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/10036>.

17. Ecological and economic efficiency assessment of forest-transport systems based on the principles of sustainable territorial development/ R N Kovalev, I M Enaleeva-Bandura, A V Nikonchuk and R A Chernykh // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science IP address 89.105.158.250 on 15/11/2019 URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/9240>.

18. Enaleeva-Bandura, I. M, Chernykh R A, Kovalev R N, Planning of forest transport systems based on the principles of sustainable development of territories. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 395, [1068] ISSN: 1755-1315 URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/9289>.

19. Enaleeva-Bandura, I. M. Modelling of the transport-technological process of delivery of wood raw materials under the conditions of uncertainty / I. M. Enaleeva-Bandura, A. V. Nikonchuk, R. A. Chernykh // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : International Science and Technology Conference «EarthScience». Russky Island: IOP Publishing, 2020. P. 022027.

URL: [https://www.researchgate.net/publication/340659258\\_Modelling\\_of\\_the\\_Transport-Technological\\_Process\\_of\\_Delivery\\_of\\_Wood\\_Raw\\_Materials\\_under\\_the\\_Conditions\\_of\\_Uncertainty](https://www.researchgate.net/publication/340659258_Modelling_of_the_Transport-Technological_Process_of_Delivery_of_Wood_Raw_Materials_under_the_Conditions_of_Uncertainty).

### **В статьях и материалах конференций**

20. Об основных подходах к оцениванию эффективности транспортного освоения лесов / В. А. Шувалова, О. Б. Монгуш, Ю. Д. Меркулова, И. М. Еналеева-Бандура // Лесной и химический комплексы - проблемы и решения. Сборник материалов по итогам Всероссийской научно-практической конференции под общей редакцией Ю. Ю. Логинова: Красноярск, 2021. С.182-184.

21. Транспортировка леса дорожным путем: преимущества и недостатки / А.А. Буркина, С.А. Чесакова, М.С. Асташевский, И.М. Еналеева-Бандура // Лесозэксплуатация и комплексное использование древесины. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск. 2021. С. 38-41.

22. Государственное регулирование и проблемы сохранения лесных ресурсов / А.А. Буркина, С.А. Чесакова, М.С. Асташевский, И.М. Еналеева-Бандура // Лесозэксплуатация и комплексное использование древесины. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск. 2021. С. 41-46.

23. О влиянии уровня развития транспортной сети на эффективность лесовосстановительных мероприятий / Бровкин С.А., Шувалова В.А., Токмашев А.А., Еналеева-Бандура И.М. // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса. Сборник по

материалам XIII Международной научно-технической конференции. Екатеринбург. 2021. С. 338-340.

24. Ковалев Р.Н., Еналеева-Бандура И.М. Информационная поддержка оптимизации лесотранспортных систем с учётом неопределенностей // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса. Сборник по материалам XIII Международной научно-технической конференции. Екатеринбург, 2021. С. 506-511.

25. Анисимов А.А., Бровкин С.А., Еналеева-Бандура И.М. Проблемы функционирования транспортно-технологического процесса предприятий лесной отрасли // Автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства. Материалы V Всероссийской научно-практической конференции. Ижевск, 2021. С. 7-8.

26. Анисимов А.А., Шувалова В.А., Еналеева-Бандура И.М. Об основных особенностях транспортировки и возможных схемах перевозки лесоматериалов автомобильным транспортом // Автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства. Материалы V Всероссийской научно-практической конференции. Ижевск. 2021. С. 9-12.

27. Математическая модель определения общей экономической стоимости лесных ресурсов с учётом уровня развития лесотранспортной сети / С.А. Бровкин, И. М. Еналеева-Бандура и др.// Лесной и химический комплексы - проблемы и решения. Сборник материалов по итогам Всероссийской научно-практической конференции. под общей редакцией Ю. Ю. Логинова. Красноярск. 2021. С. 151-155.

28. Установление взаимозависимости между негативным влиянием лесных пожаров и уровнем создания и развития транспортной сети региона / И.М. Еналеева-Бандура, К.В. Астапкович, Е.Ф. Васильева, А.А. Токмашев // Шаг в науку. Сборник статей I Всероссийской студенческой конференции с международным участием. Пермь: ВГУВТ. 2021. С. 9-12.

29. Анализ с экономической, технической и социальной точки зрения доступности лесных территорий/ И.М. Еналеева-Бандура, К.В. Астапкович, Е.Ф. Васильева, А.А. Токмашев // Шаг в науку. Сборник статей I Всероссийской студенческой конференции с международным участием. Пермь: ВГУВТ. 2021. С. 67-69.

30. Нечаева О.В., Еналеева-Бандура И.М. Математическая модель общей экономической стоимости лесных ресурсов на базе логистического подхода // Логистические системы в глобальной экономике. Часть 1: Сборник статей международной научно-практической конференции «Логистические системы в глобальной экономике»: Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева. 2020. С.214-218.

31. Анализ основных научных подходов к устойчивому управлению лесами и лесопользованием / К.В. Астапкович, С.А. Бровкин, В.А. Шувалова, И.М. Еналеева-Бандура //Сборник материалов I Всероссийской научно-практической конференции Транспорт и логистика: актуальные вопросы, проектные решения и инновационные достижения. Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева. 2020. С. 7-9.

32. Об основных математических методах определения эколого-экономической доступности участков лесного фонда / В.А. Шувалова, С.А. Бровкин, К.В. Астапкович, И.М. Еналеева-Бандура И. М. // Сборник материалов I Всероссийской научно-практической конференции Транспорт и логистика: актуальные вопросы, проектные решения и инновационные достижения. Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева. 2020. С. 145-147.

33. Планирование издержек на строительство и реконструкцию транспортной сети на территории лесного фонда / С.А. Бровкин, А.А. Токмашев, К.В. Астапкович, И.М. Еналеева-Бандура // Сборник материалов I Всероссийской научно-практической конференции Транспорт и логистика: актуальные вопросы, проектные решения и инновационные достижения. Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева. 2020. С. 18-20.

34. Об эффективности снижения негативного влияния лесных пожаров посредством повышения качества проведения профилактических мер/ Е.Ф. Васильева, Т.А. Иконостасова, С.А. Чесакова, А.А. Буркина, И.М. Еналеева-Бандура. // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения. Всероссийская научно-практическая конференция. Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева. 2020. С. 249-251.

35. Оценка величины эколого-экономического ущерба от пожаров лесным экосистемам / И.М. Еналеева-Бандура, С.С. Штерн, К.В. Астапкович, С.А. Бровкин, В.А. Шувалова // Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference «Challenges in Science of Nowadays» (May 26-28, 2020). Washington, USA: EnDeavours Publisher, 2020. С. 315-320.

36. Математическая модель прогнозирования лесных пожаров / И.М. Еналеева-Бандура И.М., К.В. Астапкович, С.С. Штерн, С.А. Бровкин, В.А. Шувалова // Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference «Challenges in Science of Nowadays» (May 26-28, 2020). Washington, USA: EnDeavours Publisher, 2020. С. 321-324.

37. Математическая модель оценки эффективности лесовосстановительных мероприятий с учетом уровня развития лесотранспортных систем / И.М. Еналеева-Бандура, С.А. Бровкин, К.В. Астапкович и др. // Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference «Challenges in Science of Nowadays» (April 6-8, 2020). Washington, USA: EnDeavours Publisher, 2020. С. 281-289.

38. Учет издержек на строительство лесной дорожной сети / И.М. Еналеева-Бандура, С.С. Штерн, Е.В. Скареева и др. // Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference «Science and Practice: Implementation to Modern Society» (June 26-28, 2020). Manchester, Great Britain: Peal Press Ltd., 2020. С. 16-19.

39. Принципы и методы планирования создания и развития транспортных сетей на территории лесного фонда / И.М. Еналеева-Бандура, С.С. Штерн, Е.В. Скареева, В.А. Шувалова, С.А. Бровкин, А.А. Буркина и др. // Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference «Scientific Research in XXI Century»(July 6-8,2020). Ottawa, Canada: Methuen Publishing House, 2020. С. 87-91.

40. В. Математическая модель эффективности лесовосстановительных мероприятий с учетом уровня развития транспортной сети / И.М. Еналеева-Бандура, А.А. Токмашев, А.С. Абрамов, Г. Макаров // Сборник материалов I Всероссийской научно-практической конференции «Транспорт и логистика: актуальные вопросы, проектные решения и инновационные достижения». Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева. 2020. С. 204-206.

41. Анализ основных методов определения эколого-экономической доступности участков лесного фонда и создание транспортной инфраструктуры / И.М. Еналеева-Бандура, Е.О. Чебодаев, А.А. Токмашев, Е.В. Кондратьева // Сборник материалов I Всероссийской научно-практической конференции «Транспорт и логистика: актуальные вопросы, проектные решения и инновационные достижения». Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева. 2020. С. 207-209.

42. Снижение негативного влияния лесных пожаров посредством создания и развития транспортных сетей / И.М. Еналеева-Бандура, К.В. Астапкович, В.А. Шувалова, С.А. Бровкин // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки [Электронный ресурс]: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (23–24 апреля 2020 г., Красноярск). С. 98-100.

43. Штерн С. С., Шувалова В. А., Еналеева-Бандура И.М. Планирование издержек на строительство лесной дорожной сети // «Актуальные проблемы авиации и космонавтики» (2019). Красноярск: СибГУ, 2019. С. 518-520.

44. Шувалова В.А., Штерн С.С., Еналеева-Бандура И.М. Модель планирования совокупных затрат на создание и развитие транспортной сети на территории лесного фонда // «Актуальные проблемы авиации и космонавтики» (2019). Красноярск: СибГУ, 2019. С. 524-526.

45. DYNAMIC MODEL OF A FOREST TRANSPORT SYSTEM TAKING INTO ACCOUNT THE STOCHASTIC COMPONENT /Enaleeva-Bandura I.,Kovalev R.,Brovkin S., Chesakova S., Burkina A., Shuvalova V., Shtern S // Scientific discoveries: projects, strategies and development: Collection of scientific papers «ΛΟΓΟΣ» with Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Vol. 1), October 25, 2019. Edinburgh, UK: European Scientific Platform. Pp.76-81.

46. Еналеева-Бандура И.М., Козин Г.Л., Норуте А.К. Роль технико-экономических расчетов при планировании лесотранспортной сети // Сборник статей студентов и молодых ученых по материалам региональной НПК 18-19 мая 2006 года/ Лесной и химические комплексы – проблемы и решения. Красноярск: СибГТУ, Том 1. 2006. С.147-149.

47. Бровкин С. А., Шувалова В. А., Еналеева-Бандура И. М. Анализ оптимизационных моделей доставки сил и средств пожаротушения с учетом уровня развития лесотранспортной сети // Сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции «Транспорт и логистика: актуальные вопросы, проектные решения и инновационные достижения». Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева. 2021. С. 15-18.

48. Анализ методологических основ определения показателей оценки транспортного освоения лесов / К. В. Косова, М. А. Морозов, С. А. Бровкин, И.М. Еналеева-Бандура // Сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции «Транспорт и логистика: актуальные вопросы, проектные решения и инновационные достижения». Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева. 2021. С. 161-163.

49. Шувалова В.А., Бровкин С.А., Еналеева-Бандура И.М. Анализ методов повышения эффективности использования подвижного состава вывозке древесного сырья // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы XIX Международной научно-технической конференции. Вологда: ВоГУ. 2021. С. 371-374.

50. Бровкин С.А., Шувалова В.А., Еналеева-Бандура И.М. Анализ методологических основ определения общей экономической стоимости лесных ресурсов с учетом уровня развития лесотранспортной сети // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы XIX Международной научно-технической конференции. Вологда: ВоГУ, 2021. С. 277-281.

51. Еналеева-Бандура И.М. Выбор оптимальной технологической схемы вывозки древесных ресурсов в зависимости от природно-производственных условий региона / И.М. Еналеева-Бандура // Сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции «Транспорт и логистика: актуальные вопросы, проектные

решения и инновационные достижения». Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева. 2021. С. 114-117.

52. Еналеева-Бандура И.М. Лес – как экономические ресурсы / Сборник статей студентов и аспирантов по материалам всероссийской НПК // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения. Красноярск: СибГТУ. Часть 2. 2003. С. 5-7.

### **В монографиях**

53. Еналеева-Бандура И.М. Модели и методы эколого-экономической оценки продуктивности лесных территорий с учетом уровня развития транспортной сети: монография / И.М. Еналеева-Бандура, Р.Н. Ковалев, А.Н. Баранов, Н.Н. Шишоркин. Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева. 2021. 176 с.

54. Еналеева-Бандура И.М., Ковалев Р.Н., Баранов А.Н. Принципы и методы оценки эффективности лесотранспортной сети в условиях многоцелевого лесопользования: монография / Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2022. 178 с.

55. Еналеева-Бандура И.М., Данилов А.Г. Применение логистико-математических моделей в лесной отрасли: монография / Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2020. 168 с.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37, Учёному секретарю диссертационного совета Д 212.281.02, e-mail: d21228102@yandex.ru

Подписано в печать

Формат 60x84 1/16. Усл. Печ. 1,0.

Изд. № . Заказ № . Тираж 100 экз.

Редакционно-издательский центр СибГУ им. М.Ф. Решетнева  
660037, г. Красноярск, ул. просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31.

E-mail: rio@kgau.ru

Тел(391)201-50-99.