

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 630\*383:625.7/.8

**БАВБЕЛЬ**  
**Евгения Ивановна**

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЛЕСОТРАНСПОРТНОЙ  
СЕТИ НА ОСНОВЕ ДИНАМИКИ ЛЕСОВОДСТВЕННО-  
ТАКСАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАСАЖДЕНИЙ**

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.21.01 – технология и машины лесозаготовок  
и лесного хозяйства

Минск 2009

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» на кафедре транспорта леса.

**Научный руководитель**

**Лыщик Петр Алексеевич,**  
кандидат технических наук, доцент,  
учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», кафедра транспорта леса

**Официальные оппоненты:**

**Леонович Иван Иосифович,**  
доктор технических наук, профессор,  
Белорусский национальный технический университет, кафедра «Строительства и эксплуатации дорог»;

**Завойских Григорий Илларионович,**  
кандидат технических наук, доцент,  
учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», кафедра лесных машин и технологии лесозаготовок

**Оппонирующая организация**

РДУП «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт»

Защита состоится «29» декабря 2009 г. в 14.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.06 в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» по адресу: 220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, ауд. 240, корп. 4. Тел.: (017)-227-83-41, факс: (017)-227-62-17, e-mail: root@bstu.unibel.by

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

Автореферат разослан «27» ноября 2009 г.

Ученый секретарь совета  
по защите диссертаций  
канд. техн. наук, доцент



Мохов С.П.

## ВВЕДЕНИЕ

Лесной комплекс играет важную роль в экономике, социальном и стратегическом планах развития Республики Беларусь. Он обеспечивает не только потребность народного хозяйства Беларуси в древесине, но и способствует международной интеграции.

Запас древесины на корню в лесах Беларуси в настоящее время составляет более 1,4 млрд. м<sup>3</sup>, при этом ликвидный запас – 163 млн. м<sup>3</sup>, который занимает 48,4% лесной площади. Если объем заготовки деловой древесины в 2009 году составил 8 млн. м<sup>3</sup>, то к 2015 году планируется увеличить его до 19...26 млн. м<sup>3</sup>. Выполнение такого объема лесозаготовок, и успешное проведение лесохозяйственных работ связано с большими трудностями: заболоченностью территории (40–60%), разбросанностью лесосечного фонда по всей территории страны, малыми по площади и объему лесосеками, сложными природно-геологическими условиями и недостаточной протяженностью лесотранспортных путей.

Транспорт леса в лесной отрасли является основным и решающим звеном лесозаготовительного процесса так, как оценка работы лесозаготовительных предприятий и лесохозяйственных организаций, ведущих лесозаготовки, оценивается по объему вывозки заготовленного леса. Для обеспечения успешной работы лесного комплекса в целом, для освоения лесных массивов необходимо иметь разветвленную транспортную сеть лесных дорог, густота которых для условий Беларуси, должна составлять 0,432 км на 100 га (в настоящее время она составляет 0,222 км на 100 га). Для достижения такой густоты лесотранспортных путей ежегодно, в соответствии с «Программой транспортного освоения и строительства лесохозяйственных дорог в лесах Минлесхоза на период до 2010 года», разработанной РУП «Белгипролес» должно ежегодно строиться 100–120 км автомобильных лесных дорог круглогодичного действия с определением регионов их строительства. Прогнозирование расположения лесотранспортной сети на основе динамики лесоводственно-таксационных характеристик насаждений является весьма актуальной задачей для лесного комплекса.

Анализ работ по исследованию методов прогнозирования расположения лесотранспортных сетей указывает на недостаточно полное раскрытие вопросов, связанных с учетом динамики лесоводственно-таксационных характеристик насаждений и особенностей реальной местности. Основное внимание исследователей сводилось к проектированию лесотранспортных сетей в лесных массивах больших размеров (100×100 км и более) и уточнению затрат для их освоения. При этом предложенные методы не учитывают неравномерность распределения запасов древесины, степень концентрации лесосек, определение очередности строительства лесных дорог, установление местоположения и количества искусственных сооружений и т.д.

Для решения данных задач впервые дано прогнозирование расположения лесотранспортных сетей на основе динамики лесоводственно-таксационных характеристик насаждений и условий их произрастания. Разработаны математическая модель размещения лесотранспортных путей и метод прогнозирования расположения их на долгосрочную перспективу для транспортного освоения лесных массивов и обеспечения непрерывности лесозаготовительного производства.

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектными темами). Тема диссертации включена в утвержденные научно-исследовательские программы Белорусского государственного университета.

планы работы Белорусского государственного технологического университета, соответствует научному направлению кафедры транспорта леса, выполнялась в рамках задания ГНТП «Управление лесами и рациональное лесопользование» (задание 4.05, БС 26-211 «Разработать и внедрить оптимальные схемы транспортного освоения лесов, рекомендации по созданию экономичных дорожных конструкций и технологии строительства новых и усиления существующих лесотранспортных путей для освоения труднодоступного лесосечного фонда», № гос. регистрации 20064123, срок выполнения 2006–2010 гг.).

**Цель и задачи исследования.** Анализ особенностей транспортного освоения лесных массивов в условиях Беларуси, а также проведенный обзор исследований проектирования лесотранспортных сетей для обеспечения рационального использования лесных ресурсов республики позволили определить цель и задачи исследований.

Целью исследований является определение расположения лесотранспортной сети в эксплуатационных лесах на долгосрочную перспективу с учетом природно-производственных условий и таксационных характеристик насаждений для интенсивного ведения лесного хозяйства и лесопользования.

Для достижения поставленной цели потребовалось решение следующих задач:

1. Обобщить результаты проектирования лесотранспортных сетей в современных условиях Республики Беларусь и выявить основные факторы, влияющие на доступность лесных ресурсов.

2. Провести анализ динамики изменений лесоводственно-таксационных характеристик насаждений для прогнозирования расположения лесотранспортной сети на местности.

3. Разработать математическую модель размещения лесотранспортных сетей для интенсивного ведения лесного хозяйства и лесопользования.

4. Разработать метод прогнозирования расположения лесотранспортных сетей и алгоритм решения оптимизационной задачи.

5. Разработать структуру, математическое и информационное обеспечение компьютерной системы прогнозирования расположения лесотранспортных сетей.

6. Разработать рекомендации по составлению проектов размещения лесотранспортных сетей для лесозаготовительных предприятий Республики Беларусь на примере ГЛХУ «Червенский лесхоз» и ГОЛХУ «Борисовский опытный лесхоз».

Объектом исследований является дорожно-транспортная сеть в эксплуатационных лесах.

Предметом исследований является лесной фонд Республики Беларусь.

**Положения, выносимые на защиту.**

– Математическая модель размещения лесотранспортных сетей, отличающаяся учетом динамики лесоводственно-таксационных характеристик насаждений, применением ГИС-технологий и программного комплекса III поколения CREDO «Дороги», позволяющая целесообразно проектировать в лесных массивах лесотранспортную сеть.

– Метод прогнозирования расположения лесотранспортных путей на долгосрочную перспективу, отличающийся возможностью определения очередности строительства лесных дорог, позволяющий учитывать неоднородность природных условий и неравномерность распределения запасов лесонасаждений, а также повысить эффективность освоения лесного фонда.

– Разработанные схемы лесотранспортных сетей с учетом динамики лесоводственно-таксационных характеристик насаждений для ГЛХУ Минлесхоза РБ, которые отражают очередность расположения и строительства лесных дорог в лесных массивах.

**Личный вклад соискателя.** Автором выполнен анализ и выявлены особенности моделирования и проектирования лесотранспортных путей в эксплуатационных лесах. Разработан метод прогнозирования расположения лесотранспортных сетей на долгосрочную перспективу с учетом очередности освоения лесного фонда. При непосредственном участии автора выполнен анализ нормативных документов с учетом интенсивного ведения лесного хозяйства и лесопатологий для прогнозирования расположения лесотранспортных сетей. Автор лично участвовал в подготовке публикаций по теме диссертации. Соавторами опубликованных работ являются сотрудники кафедры транспорта леса учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

**Апробация результатов диссертации.** Результаты работы обсуждались и получили положительную оценку на международных и республиканских научно-технических конференциях и симпозиумах: IX Республиканской научной конференции студентов и аспирантов в Гомельском государственном университете им. Фр. Скорины (ГГУ, г. Гомель, 13–15 марта 2006 г.); научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов БГТУ (БГТУ, г. Минск, 2007–2009 гг.); Республиканской научно-технической конференции молодых ученых «Энерго- и ресурсосберегающие технологии при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог и мостов» (БелдорНИИ, Минск, 22–23 ноября 2007 г.); Десятом международном симпозиуме «ТЕХНОМАТ & ИНФОТЕЛ Материалы, Методы и Технологии» (Болгария, г. Бургас, 2–6 июня 2008 г.); Международной научно-технической конференции «Геодезия, картография и геоинформационные системы» в Полоцком государственном университете (ПГУ, г. Новополоцк, 2–4 декабря 2008 г.); 6-ой Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в строительстве автомобильных дорог и мостов и подготовке инженерных кадров в Республике Беларусь» (БНТУ, Минск, 17–18 декабря 2008 г.).

**Опубликованность результатов диссертации.** Результаты диссертационной работы представлены в 8 публикациях в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК по специальности, объемом 3,3 авторских листа, 2 материалах и 1 тезисе доклада научных конференций (9 страниц). Подана заявка на изобретение, получен патент на изобретение Республики Беларусь.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, 4 глав, заключения, списка использованных библиографических источников и приложений. Объем диссертации составляет 153 страницы печатного текста. Работа включает 21 иллюстрацию на 9 страницах, 38 таблиц на 18 страницах, 5 приложений на 28 страницах. Библиографический список включает список использованных источников из 214 наименований и список публикаций соискателя из 13 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Первая глава** посвящена аналитическому обзору литературных источников по теме диссертации. Проведенный анализ современного состояния дорожной лесотранспортной сети, особенностей транспортного освоения территорий

лесного фонда в Республике Беларусь, существующих методов проектирования транспортных сетей позволил определить природные и эксплуатационные факторы, затрудняющие эффективную и непрерывную работу лесозаготовительного производства. Установлено, что одним из перспективных методов достижения расчетной оптимальной густоты  $0,430 \text{ км/км}^2$ , является прогнозирование и проектирование лесотранспортной сети в виде графа (рисунок 1), включающего множество вершин (источники запаса древесины, развилки путей, пункты примыкания) и дуг (лесных дорог различных категорий), для эффективного освоения лесного фонда лесозаготовительного предприятия.

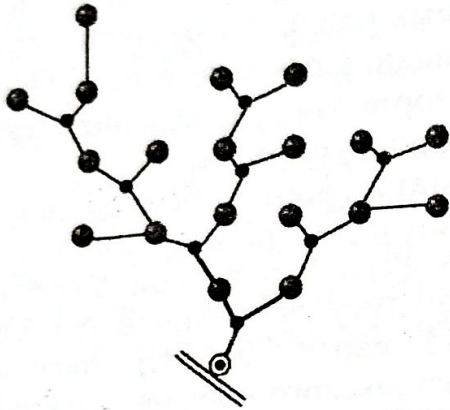


Рисунок 1 – Граф транспортной сети лесных дорог

Изучению методов проектирования лесотранспортных систем посвящены работы В.И. Алябьева, Г.А. Борисова, Н.П. Вырко, Л.В. Васильева, Б.А. Ильина, Р.Н. Ковалева, В.Г. Кочегарова, В.К. Курьянова, И.И. Леонovichа, В.И. Мельникова, Э.О. Салминена, В.Т. Сурикова и ряда других исследователей.

Анализ проведенных исследований показал, что аналитические методы обоснования схем транспортного освоения позволяют составить только общие рекомендации по расположению лесотранспортных сетей с учетом параметров лесного фонда.

Из-за простоты расчетов вышеуказанные методы применимы только для обоснования временной технологической транспортной сети на лесосеках прямоугольной формы и с однородными природными условиями. Аналитические методы не позволяют учитывать всю полноту неоднородности природных условий конкретного лесного массива и требуют упрощенного описания модели, не обеспечивая адекватность модели результатам практического размещения лесотранспортной сети в сложных природных условиях. При прогнозировании расположения лесотранспортных сетей на основе динамики лесоводственно-таксационных характеристик насаждений данные вопросы требуют проведения комплекса теоретических и экспериментальных исследований.

По результатам работы над первой главой сформулированы цель и задачи исследований.

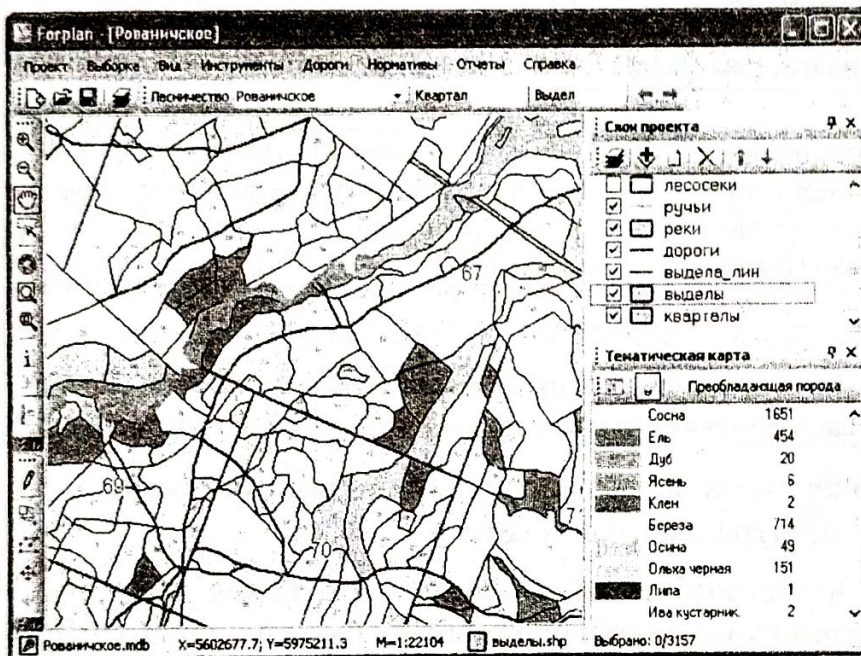
Во второй главе изложена методика исследования, дана характеристика объектов исследований, приведен анализ динамики изменений лесоводственно-таксационных характеристик насаждений для рационального расположения транспортных путей с учетом очередности строительства лесных дорог. Исследования проводились с использованием лесоустроительных материалов базового и непрерывного лесоустройства лесов ГЛХУ «Червенский лесхоз» и ГОЛХУ «Борисовский опытный лесхоз».

Методика исследования предусматривала выполнение следующих основных задач: 1) анализ научных и практических направлений по моделированию и прогнозированию лесотранспортной сети и применению геоинформационных технологий; 2) планирование и сбор опытных данных; 3) разработка картографической и атрибутивной баз данных для прогнозирования лесотранспортной сети на основе автоматизированной системы управления лесным хозяйством; 4) разработка математической модели размещения лесотранспортных сетей и

метода прогнозирования расположения лесотранспортных путей на долгосрочную перспективу; 5) разработка математического и информационного обеспечения компьютерной системы прогнозирования лесотранспортных путей в эксплуатационных лесах; 6) оценка экономической эффективности транспортного освоения лесных ресурсов.

При прогнозировании расположения лесотранспортной сети на долгосрочную перспективу значительное влияние оказывают лесоводственно-таксационные характеристики насаждений, которые представлены в виде комплекса климатических, гидрологических и почвенных факторов, определяющих условий роста и развития леса, а также таксационное описание насаждений, характеризующее породно-размерно-качественный состав древостоя.

Для учета лесоводственно-таксационных характеристик насаждений и особенностей реальной местности, влияющих на расположение лесотранспортных путей, разработана специальная цифровая модель местности (ЦММ) на основе геоинформационных технологий (рисунок 2), включающая объекты трех типов:



**Рисунок 2 – Специальная цифровая модель местности Рованичского лесничества ГЛХУ «Червенский лесхоз»**

– особые точки, которыми описываются пункты концентрации древесины, места расположения карьеров дорожно-строительных материалов, фиксированные точки примыкания дорог и т.д.

Разработанная специальная цифровая модель позволяет учитывать динамику изменений грунтовых, гидрологических и ситуационных особенностей конкретной территории проектирования лесотранспортных путей, проводить инженерную оценку природно-производственных условий лесных массивов и выделять на них лесоэксплуатационные районы по типам местности, а также производить выбор конструкций лесных дорог и расчет затрат на их строительство [12–А, 13–А].

**Третья глава** посвящена разработке математической модели размещения лесотранспортных сетей и метода прогнозирования расположения их в эксплуатационных лесах на основе динамики лесоводственно-таксационных характеристик насаждений с применением технологий геоинформационных систем.

– области неоднородности в виде полигонов произвольной формы, которыми описываются болота, озера, участки с различными типами местности, отличающиеся стоимостью строительства и содержания 1 км дороги;

– линейные участки неоднородности, аппроксимируемые ломаными линиями реки, ручьи, узкие складки местности, существующие дороги и т.д.;

Математическая модель размещения лесотранспортных сетей разработана с использованием инструментария теории графов. При этом лесотранспортная сеть представляется в виде связного взвешенного графа, в котором вершины – «особые точки», а ребра – возможные лесотранспортные пути между ними, характеризующиеся соответствующими стоимостями строительства лесных дорог. В основу графоаналитической модели положен алгоритм построения минимального связывающего дерева – дерева Прима [2-А, 3-А].

На основе указанного выше метода разработаны алгоритм и программное обеспечение прогнозирования расположения лесотранспортных сетей на основе динамики лесоводственно-таксационных характеристик насаждений и специальной цифровой модели местности. На рисунке 3 представлена структурная схема по прогнозированию расположения лесотранспортной сети.

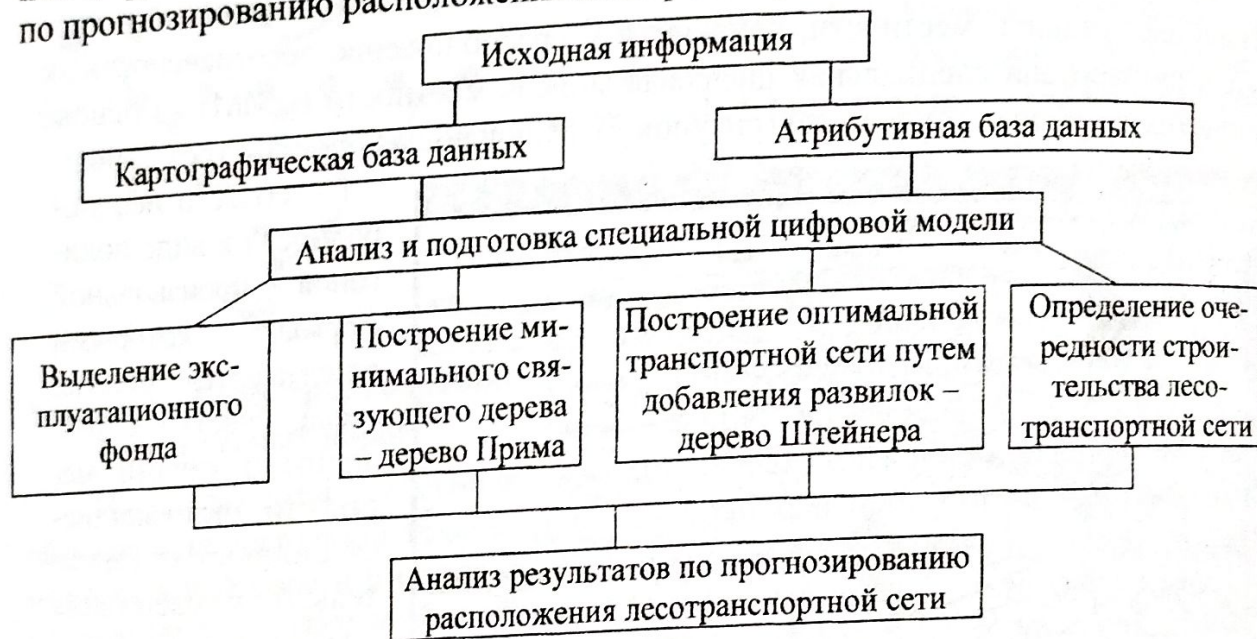


Рисунок 3 – Структурная схема по прогнозированию расположения лесотранспортной сети

Из рисунка 3 видно, что разработанные модель размещения лесотранспортных сетей и метод прогнозирования расположения их на долгосрочную перспективу состоят в следующем [8-А]:

**1-й этап. Выделение эксплуатационного фонда.** Лесоэксплуатационные районы выделяются в соответствии с РД РБ 02080.019-2004 «Правила рубок леса в Республике Беларусь» и Правилами отнесения лесов Республики Беларусь к группам и категориям защитности, соответствующие определенным типам местности и возрастам рубки по основным 6-ти хозсекциям: сосна – 81 год, ель – 81 год, дуб – 101 год, береза – 61 год, ольха черная – 51 год, осина – 41 год. В специальной цифровой модели местности (рисунок 2) определяются точечные и линейные препятствия, площадные объекты, которые затрудняют или вовсе исключают расположение по ним лесотранспортных путей (например, особо защитные участки леса, болота, реки и т.д.).

**2-й этап. Построение минимального связующего дерева – дерева Прима.** Алгоритм Прима заключается в соединении сетью звеньев  $(i, j)$ , имеющих минимальную суммарную длину из всего графа  $G_s$ . За основной критерий оптимальности варианта расположения лесотранспортной сети принят минимум затрат на строительство, содержание лесных дорог и вывозку всего сосредоточенного объема древесины:



$$\min_{i,j \in G_k} \Phi(G_k) = \min_{i,j \in G_k} \sum_{ij} C_{ij} \cdot l_{ij}^k = \min_{i,j \in G_k} \sum_{ij} \sum_{t=1}^T \left[ \frac{K_{ij}^k(t) + T_{ij}^k(t) \cdot q_{ij}(t) + I_{ij}^k(t)}{(1 + E_{ii})^t} \right] \cdot l_{ij}^k, \quad (1)$$

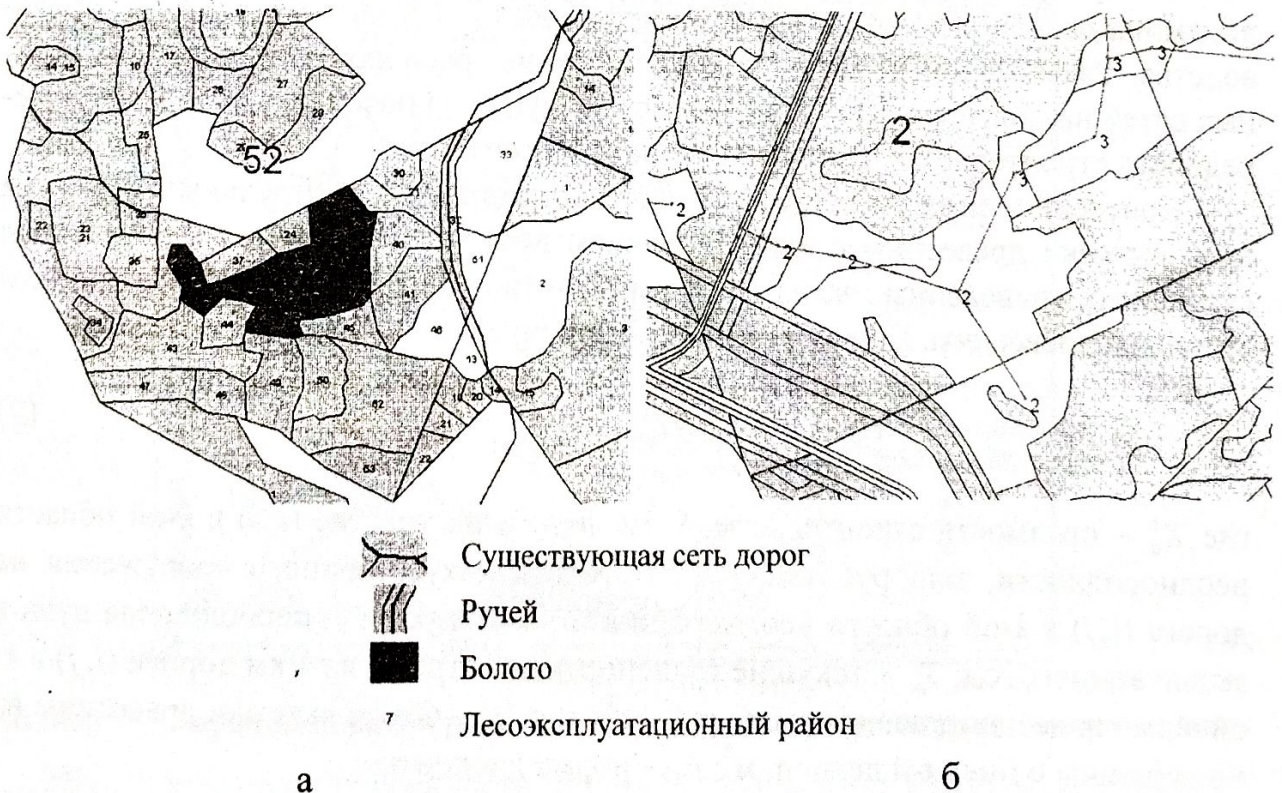
где  $K_{ij}^k(t)$  – стоимость строительства 1 км дороги на участке  $(i, j)$  в  $k$ -ой области неоднородности и  $t$ -й период времени, млн. руб./км;  $T_{ij}^k(t)$  – текущие транспортные затраты на 1 км дороги  $(i, j)$  в  $k$ -ой области неоднородности и  $t$ -й период времени, млн. руб./м<sup>3</sup>км;  $q_{ij}(t)$  – объем вывозки древесины из  $i$ -й вершины в  $j$ -ю в  $t$ -й период времени, м<sup>3</sup>;  $I_{ij}^k(t)$  – стоимость искусственного сооружения на дороге  $(i, j)$  в  $k$ -ой области неоднородности и  $t$ -й период времени, млн.руб.;  $E_{ii}$  – норма дисконта;  $l_{ij}^k$  – протяженность участка  $(i, j)$ , пересекающего  $k$ -ую область неоднородность, км.

При этом определяется целесообразность строительства лесной дороги к отдельным выделам, исходя из условия, если затраты на строительство дороги меньше или равны затратам на строительство волока:

$$(K_{ij}^k + T_{ij}^k \cdot q_{ij}) l_{ij}^k \leq (K_{ij}^{в(k)} + T_{ij}^{в(k)} \cdot q_{ij}) l_{ij}^k, \quad (2)$$

$$q_{ij} \geq \frac{K_{ij}^k - K_{ij}^{в(k)}}{T_{ij}^{в(k)} - T_{ij}^k}, \quad (3)$$

где  $K_{ij}^k, K_{ij}^{в(k)}$  – стоимость строительства 1 км соответственно дороги и волока на участке  $(i, j)$  в  $k$ -ой области неоднородности, млн. руб./км;  $T_{ij}^k, T_{ij}^{в(k)}$  – текущие транспортные затраты на 1 км соответственно дороги и волока  $(i, j)$  в  $k$ -ой области неоднородности, млн. руб./м<sup>3</sup>км;  $q_{ij}$  – объем вывозки древесины из  $i$ -й вершины в  $j$ -ю, м<sup>3</sup>,  $l_{ij}^k$  – протяженность участка  $(i, j)$ , пересекающего  $k$ -ую область неоднородность, км.



а – лесозэксплуатационные районы; б – запроектированная лесотранспортная сеть

Рисунок 4 – Построение лесотранспортной сети

3-й этап. Построение лесотранспортной сети путем добавления развилки – минимальное дерево Штейнера. Задача Штейнера заключается в том, чтобы определить точку развилки, для которой сумма взвешенных расстояний для заданных пунктов была бы минимальна. При этом усложняется только целевая функция задачи в следующем порядке:

– ищется минимальная протяженность лесотранспортной сети

$$\sum_{ij} l_{ij}^k \rightarrow \min; \quad (4)$$

где  $l_{ij}^k$  – протяженность участка  $(i, j)$ , пересекающего  $k$ -ую область неоднородности, км.

– ищется минимум эксплуатационных затрат на вывозку древесины

$$\sum_{ij} T_{ij}^k \rightarrow \min; \quad (5)$$

где  $T_{ij}^k$  – текущие транспортные затраты на 1 км дороги  $(i, j)$  в  $k$ -ой области неоднородности, млн. руб./м<sup>3</sup> км;

– ищется минимум затрат на строительство, содержание дороги и вывозку всего сосредоточенного объема древесины

$$\sum_{ij} C_{ij} \rightarrow \min. \quad (6)$$

где  $C_{ij}$  – затраты на строительство, содержание дороги и вывозку всего сосредоточенного объема древесины, руб.

4-й этап. Определение очередности строительства лесотранспортных сетей. От правильности определения зависит ритмичность работы предприятий, динамика освоения инвестиций и эффективность лесозаготовительного производства. Разработанный метод прогнозирования расположения лесотранспортных сетей на долгосрочную перспективу (рисунок 5) позволяет определять очередность строительства лесных дорог по 2-м критериям.

Критерий **минимум затрат** обеспечивает заданный по отдельным периодам план вывозки древесины с использованием построенных дорог при минимуме суммарных приведенных затрат на строительство дорог, их содержание и вывозку по ним древесины. При этом суммарные приведенные затраты составляют:

$$C_{ij} = \frac{K_{ij}^k + I_{ij}^k}{(1 + E_n)^v} + T_{ij}^k \cdot \sum_{t=v}^{t=N} q_{ij}(t) \frac{1}{(1 + E_n)^t}, \quad (7)$$

где  $K_{ij}^k$  – стоимость строительства 1 км дороги на участке  $(i, j)$  в  $k$ -ой области неоднородности, млн. руб./км;  $I_{ij}^k$  – стоимость искусственного сооружения на дороге  $(i, j)$  в  $k$ -ой области неоднородности, млн. руб.;  $v$  – период ввода пути в эксплуатацию, год;  $T_{ij}^k$  – текущие транспортные затраты на 1 км дороги  $(i, j)$  в  $k$ -ой области неоднородности, млн. руб./м<sup>3</sup> км;  $q_{ij}(t)$  – объем вывозки древесины из  $i$ -й вершины в  $j$ -ю в  $t$ -й период, м<sup>3</sup>;  $E_n$  – норма дисконты.

Критерий **наступления спелости** обеспечивает заданный по отдельным периодам план вывозки древесины, используя построенную лесотранспортную сеть с учетом периода достижения возраста рубки насаждений.

Период достижения возраста рубки (ПДВР) – период планирования, в котором возраст насаждения становится больше, чем минимальный возраст рубки для насаждений данной породы. Средний ПДВР для совокупности участков рассчитывается как средневзвешенное через запас:

$$m = \frac{\sum_{k=1}^n (p_k \cdot q_k)}{\sum_{k=1}^n q_k} \quad (8)$$

где  $p_k$  – ПДВР  $k$ -того участка, год;  $q_k$  – запас древесины  $k$ -того участка,  $m^3$ ;  $n$  – количество участков (узлов) в пределах дерева.

Назначение очередности строительства выполняется следующим образом:

1. Лесные дороги с меньшим ПДВР строятся в первую очередь.
2. При равных ПДВР в первую очередь строятся лесные дороги с большим соотношением объема вывозки к длине дороги.
3. Назначение периодов выполняется последовательно, начиная с первого. Когда лесные дороги на первый период строительства набраны, алгоритм приступает к набору лесных дорог на второй период и т.д.
4. Лесные дороги на очередной период считаются набранными, когда запасы насаждений, которые могут быть освоены в этот период с использованием запроектированной сети, достигнут требуемой величины. При этом учитываются только насаждения, которые в данном периоде достигли или достигнут минимального возраста рубки.
5. Целевой запас для каждого из периодов определяется как суммарный запас всего лесосечного фонда, деленный на количество периодов.

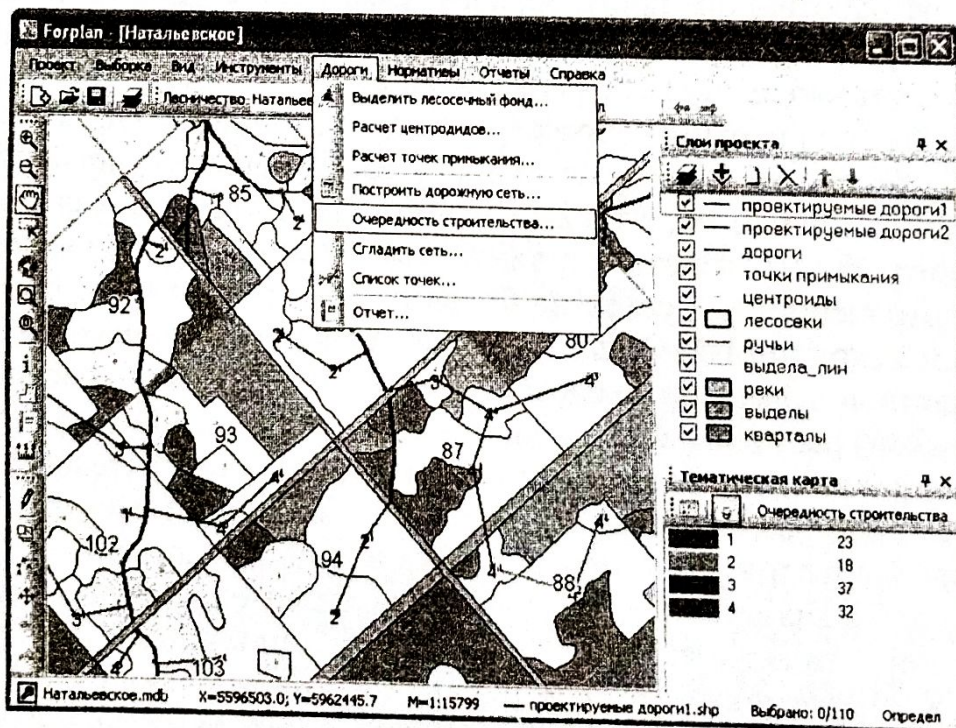


Рисунок 5 – Определение очередности строительства лесотранспортной сети

При определении очередности строительства лесных дорог в соответствии с планом развития лесного хозяйства предприятия необходимо установить – за какой период запланировано построить лесотранспортную сеть. В связи с этим могут быть два случая:

– если запланировано построить лесотранспортную сеть на 10 лет, значит, минимальный возраст рубки для основных 6-ти хозсекций при выделении лесо-эксплуатационных районов будет составлять: сосна – 81 год, ель – 81 год, дуб – 101 год, береза – 61 год, ольха черная – 51 год, осина – 41 год. В результате лесотранспортная сеть будет строиться только в спелых и перестойных лесах.

– если запланировано построить лесотранспортную сеть на 20 лет, значит, минимальный возраст рубки для основных 6-ти хозсекций при выделении лесо-эксплуатационных районов необходимо понизить на 10 лет и будет составлять: сосна – 71 год, ель – 71 год, дуб – 91 год, береза – 51 год, ольха черная – 41 год, осина – 31 год. В результате лесотранспортная сеть будет строиться по периодам (1 – 5 лет, 2 – 10 лет) как в спелых, так и в приспевающих лесах (3 – 15 лет, 4 – 20 лет), которые в течение 10-ти лет перейдут в разряд спелых лесов. У каждого сегмента запроектированной лесной дороги будет указан период строительства (1, 2, 3 и т.д.), который соответствует периоду наступления спелости данного участка леса.

5-й этап. *Определение необходимого количества искусственных сооружений.* Обоснование и выбор местоположения искусственного сооружения рассматривается в каждой точке пересечения проектируемой трассы лесной дороги с водным препятствием (реки, ручьи и т.д.).

6-й этап. *Получение отчета по запроектированной лесотранспортной сети с учетом очередности строительства лесных дорог.* В отчете приводятся по периодам следующие показатели: длина строительства лесотранспортных путей, км; стоимость строительства лесотранспортных путей, млрд. руб.; средняя стоимость строительства 1 км, млн. руб./км; объем вывозки, тыс. м<sup>3</sup>; грузооборот, тыс. м<sup>3</sup>/год; стоимость искусственных сооружений, млн. руб.; общая стоимость строительства, млрд. руб. и т.д.

В основу разработанного программного обеспечения прогнозирования расположения лесотранспортных сетей положены четыре принципа: универсальность (возможность моделировать произвольные по конфигурации и площади участки реальных территорий с трассируемыми лесотранспортными путями), гибкость (удобство пополнения программного обеспечения за счет включения в его состав новых компонентов, а также корректировки отдельных его частей без изменения целого), быстрое действие и диалоговый режим. Прогнозирование расположения лесотранспортных сетей на больших территориях (лесхозы) достигается разбиением исходной ЦММ на отдельные сегменты (лесничества), решением оптимизационной задачи на каждом сегменте (лесничестве) и последующим синтезом (склежкой) рационального варианта лесотранспортной сети.

**В четвертой главе** приведены результаты испытаний разработанной математической модели размещения лесотранспортных сетей и метода прогнозирования их на долгосрочную перспективу в производственных условиях РУП «Белгипролес». Испытания заключались в сравнительном проектировании лесотранспортной сети автоматизированными и традиционными методами двух объектов ГЛХУ «Червенский лесхоз» и ГОЛХУ «Борисовский опытный лесхоз». Результаты испытаний подтвердили правильность теоретических предположений и допущений, принятых при разработке математической модели и метода прогнозирования расположения лесотранспортных сетей на долгосрочную перспективу, а также позволили оценить трудоемкость разработанных модели и метода, которая не превосходит трудоемкости традиционного камерального трассирования. В таблицах 1 и 2 приведены запланированные объемы строи-

тельства лесотранспортной сети в ГЛХУ «Червенский лесхоз» и ГОЛХУ «Борисовский опытный лесхоз».

Таблица 1 – Запланированные объемы строительства лесотранспортной сети ГЛХУ «Червенский лесхоз», км

Название лесничества	Эксплуатационный фонд, %	Периоды строительства				Всего	Существующая протяженность лесных дорог, км	Итого с учетом запроектированных дорог, км	Объем вывозки по запроектированной лесотранспортной сети, тыс. м <sup>3</sup>
		I	II	III	VI				
Горковское	88,6	0,08	0,31	0,64	4,68	5,71	52,1	57,81	18,2
Гребенецкое	90,8	2,14	5,73	5,71	12,57	26,15	97	123,15	104,3
Ивановское	88,6	1,61	8,52	5,54	4,13	19,8	112,8	132,6	1313,9
Натальев-	48,6	4,1	3,38	7,24	5,99	20,71	49,9	70,61	1161,2
Рованичское	87,3	4,59	6,92	6,25	6,81	24,57	109,5	134,07	1514
Хуторское	90,4	7,59	6,14	6,54	9,18	29,45	85,6	115,05	383
Итого:		20,11	31	31,92	43,36	126,39	506,9	633,29	4494,6

Таблица 2 – Запланированные объемы строительства лесотранспортной сети ГОЛХУ «Борисовский опытный лесхоз», км

Название лесничества	Эксплуатационный фонд, %	Периоды строительства				Всего	Существующая протяженность лесных дорог, км	Итого с учетом запроектированных дорог, км	Объем вывозки по запроектированной лесотранспортной сети, тыс. м <sup>3</sup>
		I	II	III	VI				
Борисовское	18	0,23	0,3	0,86	0,97	2,36	126,5	128,86	11,4
Велятичское	68,7	0,7	1,95	3,62	4,96	11,23	146,3	157,53	37,6
Жортайское	83,8	11,56	12,51	13,25	11,57	48,89	169,7	218,59	370,2
Забашевичское	73,2	7,68	3,61	7,77	9,51	28,57	177,4	205,97	1742,2
Зачистское	92,9	1,03	2,19	3,8	9,76	16,78	105,4	122,18	77,4
Зембинское	54,9	0,79	1,39	4,2	6,74	13,12	86,3	99,42	80,9
Иконское	75,9	11,59	13,05	7,61	12,32	44,57	140,3	184,87	3261,2
Мстижское	77,4	4,3	4,56	3,64	12,19	24,69	136,2	160,89	1278,4
Неманицкое	76,4	6,44	16,59	13,09	10,57	46,69	102,6	149,29	266,4
Пруд-боранское	85,5	6,43	6,56	3,61	12,48	29,08	122,8	151,88	195,7
Селецкое	96,6	15,73	19,36	3,48	21,01	59,58	82,1	141,68	261,9
Слободское	77,9	4,52	4,26	2,79	6,44	18,01	114,3	132,31	873,9
Черневское	37,8	0,08	0,4	0,5	0,6	1,58	118,7	120,28	6,6
Итого:		71,08	86,73	68,22	119,12	345,15	1628,6	1973,75	8463,8

При разработке схем лесотранспортных сетей в эксплуатационных лесах учитывались динамика изменений лесоводственно-таксационные характеристики лесного фонда ГЛХУ «Червенский лесхоз» и ГОЛХУ «Борисовский опытный лесхоз»; существующая лесотранспортная сеть и технико-экономические показатели работы предприятий.

Прогнозирование расположения лесотранспортной сети для Натальевского лесничества ГЛХУ «Червенский лесхоз» производилось по разработанной математической модели размещения лесотранспортных путей и методу прогнозирования их расположения на 20 лет, результаты которых приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Рассчитанные показатели лесотранспортной сети Натальевского лесничества ГЛХУ «Червенский лесхоз»

Показатель	Период строительства				Итого
	I	II	III	IV	
Длина строительства лесотранспортных путей, км	4,1	3,38	7,24	5,99	20,71
Стоимость строительства лесотранспортных путей, млрд. руб.	1,02	3,46	5,98	10,25	20,71
Средняя стоимость строительства 1 км, млн. руб./км	0,42	0,34	0,79	0,7	2,25
	0,1	0,35	0,61	1,2	2,26
Объем вывозки, тыс. м <sup>3</sup>	103	100	109,8	117,7	108,6
	100	100,9	101,3	117,4	109,1
Грузооборот, тыс. м <sup>3</sup> /год	285,6	288,7	296,1	290,8	1161,2
	275,8	292,3	302,7	290,4	1161,2
Строительство искусственных сооружений, млн. руб.	57,1	57,7	59,2	58,2	58,1
	55,2	58,5	60,5	58,1	58,1
Общая стоимость, млрд. руб.	-	10	-	-	10
	-	10	-	-	10
	0,42	0,35	0,79	0,7	2,26
	0,1	0,36	0,61	1,2	2,27

Примечание – в числителе данные, полученные по критерию наступления спелости; в знаменателе – по минимуму затрат.

Из таблицы 3 видно, что для полного транспортного освоения лесных массивов Натальевского лесничества необходимо построить 20,71 км лесных дорог. Данная лесотранспортная сеть будет иметь многофункциональное назначение, и обеспечивать своевременную вывозку заготовленной древесины и сохранение лесной среды. Сравнивая разработанные два критерия определения очередности строительства лесотранспортной сети, приведенных в таблице 3, можно сделать вывод, что критерий наступления спелости лесонасаждений позволяет равномерно распределять по периодам объемы строительства лесотранспортной сети. При этом запроектированная лесотранспортная сеть обеспечивает наиболее полное использование расчетной лесосеки с учетом спелости леса.

Следующим этапом создания схемы лесотранспортной сети является автоматизированное проектирование трассы лесной автомобильной дороги в системе CREDO «Дороги» III поколения.

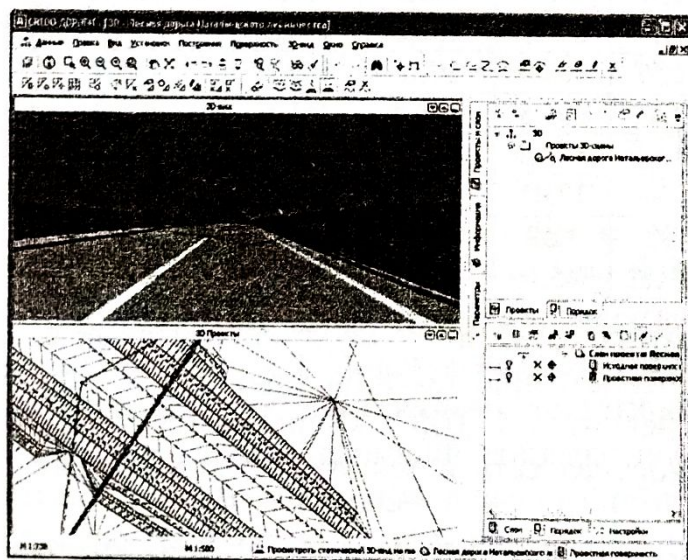


Рисунок 6 – 3D-вид запроектированной трассы лесной дороги Натальевского лесничества ГЛХУ «Червенский лесхоз»

Процесс создания проекта трассы лесной дороги в системе CREDO «Дороги» состоит в следующем: создание цифровой модели рельефа, цифровой модели ситуации, проектирование плана трассы лесной дороги, проектирование продольного профиля и земляного полотна лесной автомобильной дороги, оформление и вывод чертежей и ведомостей. На рисунке 6 приведен 3D-вид запроектированной трассы лесной дороги Натальевского лесничества ГЛХУ «Червенский лесхоз» в кварталах №87–88.

При проектировании трассы лесной автомобильной дороги соблюдались основные требования СНиП 2.05.07-91 «Промышленный транспорт». При этом объем вывозимой древесины по запроектированной лесной дороге в целом составит 8628,4 м<sup>3</sup>. Затем по каждому выделу составляется детальное таксационное описание, характеризующее породно-размерно-качественный состав древостоя и рассчитывается товарная структура разрабатываемых лесонасаждений (таблица 4).

Таблица 4 – Товарная структура древесных запасов фрагмента Натальевского лесничества, тыс. руб.

№ квартала	№ выдела	Диаметр, см	Порода	Крупная	Средняя	Мелкая	Дрова	Деловая	Ликвид	Всего
87	2	24	Береза	508,44	654,24	30,6	18,36	1193,28	1211,64	1211,64
		28	Осина	53,64	39,36	0,84	1,08	93,84	94,92	94,92
		24	Ель	761,28	796,32	185,28	0,6	1742,88	1743,48	1743,48
87	3	26	Ель	2912,64	2132,76	410,04	1,8	5455,44	5457,24	5457,24
		24	Береза	550,32	706,92	32,16	18,72	1289,4	1308,12	1308,12
		30	Осина	77,52	78,96	1,32	2,04	157,8	159,84	159,84
87	6	26	Береза	6411,48	5489,76	244,32	173,52	12145,5	12319,0	12319,1
		28	Осина	644,88	474,72	9,6	12,84	1129,2	1142,04	1142,04
		26	Ель	2668,92	1969,08	368,88	1,56	5006,88	5008,44	5008,44
88	2	28	Ель	1429,56	745,32	112,8	0,72	2287,68	2288,4	2288,4
		24	Береза	147,12	189,36	8,52	4,68	345	349,68	349,68
		32	Осина	36,12	51,84	0,84	1,2	88,8	90	90
88	3	26	Береза	5611,08	4824,24	212,16	147,6	10647,4	10795,0	10795,1
		30	Осина	831	698,4	13,32	18,6	1542,72	1561,32	1561,32
		26	Ель	2791,92	2077,2	379,56	1,56	5248,68	5250,24	5250,24
88	4	26	Осина	193,56	207,24	3,6	5,28	404,4	409,68	409,68
		24	Береза	308,64	396,6	18	10,44	723,24	733,68	733,68
		24	Ель	375,96	393,48	91,32	0,24	860,76	861	861
		20	Дуб	495,96	1321,56	213,96	3,12	2031,48	2034,6	2034,6
Итого:				26810,0	26810,0	23247,3	2337,1	423,96	52394,5	52818,4

Из таблицы 4 видно, что прибыль от освоения фрагмента Натальевского лесничества ГЛХУ «Червенский лесхоз» составит 52818,4 тыс. руб.

Таким образом, разработанная математическая модель и метод прогнозирования размещения лесотранспортной сети позволяет проводить оценку, осуществлять мониторинг и прогнозировать расположение лесотранспортных путей на долгосрочную перспективу. При проведении нового лесоустройства лесоустроительное предприятие актуализирует все материалы и вносит изменения в выделенную лесотаксационную базу данных. В ГЛХУ выполняются все запроектированные мероприятия: по рубкам различного пользования, по лесовосстановлению, и т. п., – при производстве которых учитывается динамика изменения лесоводственно-таксационных характеристик лесного фонда, используя при этом запроектированную лесотранспортную сеть.

Использование разработанного метода прогнозирования расположения лесотранспортной сети, современных геоинформационных технологий и CREDO «Дороги» III поколения позволили повысить качество проектирования за счет

многовариантных проработок проектных решений и выбора наиболее выгодных технических и организационных решений. С учетом этих особенностей разработана программа по прогнозированию расположения лесотранспортной сети на основе динамики лесоводственно-таксационных характеристик насаждений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

Из полученных результатов теоретических исследований и разработанных схем лесотранспортных сетей в эксплуатационных лесах можно сделать следующие выводы:

1. Разработанный метод прогнозирования расположения вариантов лесотранспортных сетей на этапе их камерального трассирования позволяет учитывать особенности транспортного освоения лесного фонда Республики Беларусь и динамику лесоводственно-таксационных характеристик насаждений, влияющих на расположение лесных дорог на местности [3-А, 6-А].

2. На основании разработанных математической модели и метода прогнозирования расположения лесотранспортных путей на долгосрочную перспективу установлено, что схемы лесотранспортных сетей необходимо выбирать с учетом лесоводственно-таксационных характеристик насаждений и особенностей реальной местности [1-А, 2-А, 3-А, 6-А].

3. Разработанная математическая модель и полученные результаты позволили сократить время и снизить до 15% себестоимость проектирования транспортного освоения лесных массивов за счет улучшения конфигурации и структуры лесотранспортной сети; сократить до 10% на стадии проектирования сметную стоимость и повысить качество проектов лесотранспортных сетей.

4. Установлено, что темпы развития лесотранспортных сетей зависят от конкретных природных условий, расположения предприятия, а его прогноз должен вестись с учетом очередности строительства лесных дорог в эксплуатационных лесах по двум критериям: минимальной стоимости и наступления спелости лесонасаждений [3-А, 4-А, 5-А].

5. Разработанный метод прогнозирования расположения лесотранспортных сетей на долгосрочную перспективу позволяет проводить:

– анализ лесного фонда существующих лесозаготовительных производств [10-А];

– обоснование целесообразности лесозаготовок [7-А, 10-А];

– оценку доступности и качества лесных ресурсов [3-А, 10-А];

– выбор участков лесного фонда для перспективного освоения [2-А, 10-А];

– создание тематических карт по лесным ресурсам, демонстрирующих различные подходы к лесопользованию [10-А];

– перспективное и оперативное планирование лесотранспортных путей к территориям освоения лесных массивов [4-А, 8-А, 9-А, 11-А];

– планирование развития лесотранспортной сети и доступа к сопутствующим трассе лесным и другим природным ресурсам [10-А, 11-А, 12-А].



6. Полученные результаты исследования, использованные при разработке схем размещения лесотранспортной сети и внедренные в эксплуатационных лесах Натальевского и Хуторского лесничеств ГЛХУ «Червенский лесхоз» и Слободское лесничество ГОЛХУ «Борисовский опытный лесхоз» показали, что очередность строительства лесных дорог с учетом лесоводственно-таксационных характеристик насаждений позволяет своевременно спланировать ввод лесных массивов в эксплуатацию, планировать расход бюджетных средств на строительство лесных дорог и получать качественную древесину за счет недопущения перехода растущего леса с категории спелого в категорию перестойного [6-А].

7. Требования к лесотранспортной сети, разработанные на основе современных компьютерных информационных технологиях показывают, что лесотранспортная сеть в лесном массиве имеет многофункциональное назначение, позволяет производить своевременную вывозку заготовленной древесины и сохранение лесной экосистемы [6-А].

8. Фактический годовой экономический эффект от применения разработанных математической модели размещения лесотранспортных путей и метода прогнозирования расположения их на долгосрочную перспективу при апробации в РУП «Белгипролес» составил 306800 руб./км в ценах 2008 г.

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

1. Разработанную математическую модель и метод прогнозирования расположения лесотранспортных сетей на основе лесоводственно-таксационных характеристик насаждений и геоинформационных технологий рекомендуется применять [4-А, 5-А]:

– на стадии разработки проекта схемы транспортного освоения лесного фонда лесозаготовительного предприятия;

– на стадии рабочего проекта строительства новых лесных автомобильных дорог.

2. Разработанное математическое и информационное обеспечение прогнозирования расположения лесотранспортных сетей целесообразно использовать в проектных организациях для принятия решений по выбору видов лесотранспортных путей с обоснованием их рациональных параметров на этапе планирования работ [3-А, 4-А, 5-А, 8-А].

3. Применение математической модели и метода прогнозирования расположения лесотранспортных путей на долгосрочную перспективу на основе динамики лесоводственно-таксационных характеристик и геоинформационных технологий показали свою эффективность в следующих направлениях [2-А, 5-А, 6-А, 8-А]:

– в области проектирования лесотранспортной сети:

а) повышение качества проектирования за счет увеличения вариантности проработок, повышения точности и выработки окончательного решения, близкого к оптимальному;

б) в создании предпосылок для сокращения объемов трудоемких полевых работ;

– в области строительства и эксплуатации лесотранспортной сети:

а) в снижении затрат на строительство лесотранспортной сети за счет повышения экономичности проекта, разработанного на основе оптимальных решений, принятых на ранних этапах проектирования;

б) в повышении производительности процесса вывозки древесины за счет улучшения эксплуатационных качеств запроектированной сети и, как следствие, в сокращении эксплуатационных затрат на вывозку.

4. Разработанные для реализации математической модели, алгоритмы и программы прошли практическую апробацию в РУП «Белгипролес» и внедрены в учебный процесс на кафедре транспорта леса УО «БГТУ» по дисциплинам «Проектирование лесовозных дорог», «Моделирование и оптимизация процессов лесозаготовок и транспорта леса».

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

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

1–А. Бавбель, Е. И. Оптимизация транспортно-технологических схем освоения лесосырьевой базы в лесах второй группы / Е.И. Бавбель // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2007. – Вып. XV. – С. 100–103.

2–А. Bavbel, J. I. Designing of the road network in wood of the second group / J. I. Bavbel, P. A. Lyshchik // Materials, Methods and Technology. International Scientific Publications. – Bulgaria: Info Invest, 2007. – Vol. 1. – P. 49–59.

3–А. Бавбель, Е. И. Построение многоуровневой системы математических моделей лесотранспортной сети для решения дорожно-транспортных задач / Е. И. Бавбель // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 32–37.

4–А. Лыщик, П. А. Расчет очередности транспортного освоения лесных массивов методами динамического программирования / П. А. Лыщик, В. В. Игнатенко, Е. И. Бавбель // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 75–80.

5–А. Bavbel, J. I. Development of the design technique forest road network for effective transport development of woodland in Belarus / J. I. Bavbel, P. A. Lyshchik // Materials, Methods and Technology. International Scientific Publications. – Bulgaria: Info Invest, 2008. – Vol. 2. – Part 1. – P. 116–124.

6–А. Бавбель, Е. И. Экспериментальный проект транспортной сети ГЛХУ «Червенский лесхоз» Натальевского лесничества / Е. И. Бавбель // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2009. – Вып. XVII. – С. 56–60.

7–А. Лыщик, П. А. Методика определения экономической эффективности транспортного освоения лесных ресурсов в эксплуатационных лесах / П.А. Лыщик, Е. И. Бавбель // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2009. – Вып. XVII. – С. 52–55.

8–А. Бавбель, Е. И. Обоснование размещения лесотранспортных сетей / Е. И. Бавбель, П. А. Лыщик // Известия вузов. Лесной журнал. – 2009. – Вып. 4. – С. 82–88.

## Материалы научных конференций и тезисы докладов

9-А. Бавбель, Е. И. Применение динамического программирования при проектировании лесовозной дороги / Е. И. Бавбель, В. В. Игнатенко // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях: материалы IX Республиканской науч. конф. студентов и аспирантов, Гомель, 13-15 марта 2006 г. / Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины; редкол.: Д.Г. Лин [и др.]. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2006. – С. 5-6.

10-А. Бавбель, Е. И. Учет существующей сети дорог общего пользования при проектировании лесных дорог / Е. И. Бавбель, П. А. Лыщик // Энерго- и ресурсосберегающие технологии при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог и мостов: тезисы докладов Республиканская науч.-техн. конф. молодых ученых, Минск, 22-23 ноября 2007 г. / РДУП «БелдорНИИ». – Минск, 2007. – С. 3-5.


11-А. Бавбель, Е. И. Проектирование лесотранспортных сетей на основе автоматизированной системы управления лесным хозяйством / Е. И. Бавбель, П. А. Лыщик // Инновационные технологии в строительстве автомобильных дорог, мостов и подготовке инженерных кадров в Республике Беларусь: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 17-18 декабря 2008 г. / Белорус. нац. техн. ун-т; ред. кол.: И. И. Леонович [и др.]. – Минск, 2008. – С. 169-174.

### Патент на изобретение

12-А. Способ устройства дорожной конструкции на слабых грунтах: пат. 10850 Респ. Беларусь, МПК<sup>7</sup> Е 01 С 9/08 / М. Т. Насковец, Е. И. Бавбель; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № а 20060573; заявл. 06.08.06; опубл. 30.04.08 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 3. – С. 118.

### Заявка на изобретение

13-А. Способ устройства дорожной конструкции на слабых грунтах, МПК<sup>7</sup> Е 01 С 3/00 / М. Т. Насковец, Е. И. Бавбель; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № а20081100; заявл. 21.08.08.



Прагназаванне размяшчэння лесатранспартнай сеткі на аснове дынамікі лесаводча-таксацыйных характарыстак насаджэнняў

**Ключавыя словы:** прагназаванне, лесатранспартны шлях, лесаводча-таксацыйныя характарыстыкі, праект лесатранспартнай сеткі.

**Мэта работы:** вызначэнне размяшчэння лесатранспартнай сеткі ў эксплуатацыйных лясах на доўгатэрміновую перспектыву з улікам прыродна-вытворчых умоў і таксацыйных характарыстак насаджэнняў для інтэнсіўнага вядзення лясной гаспадаркі і лесакарыстання.

**Метады даследавання і апаратура:** падчас правядзення даследаванняў ужываліся навукова абгрунтаваныя метады мадэлявання і тэорыі графаў з выкарыстаннем сучасных геаінфармацыйных тэхналогій для атрымання і апрацоўкі тэарэтычных і эксперыментальных дадзеных.

**Навуковая навізна атрыманых вынікаў:** распрацавана параметрычнае і агульнае сістэмнае апісанне лесатранспартнай сеткі як структурнага элемента лесанарыхтоўчага прадпрыемства, якое вядзе сучаснае рацыянальнае лесакарыстанне. Усталяваны асноўныя патрабаванні да размяшчэння лесатранспартнай сеткі, якія ўключаюць: матэматычную мадэль выбару рацыянальнай лесатранспартнай сеткі як адзінае канцэптualaнае апісанне канфігурацыі лесатранспартнай сеткі ў выглядзе графа і параметраў дарожных канструкцый; метады прагназавання размяшчэння лесатранспартных шляхоў на доўгатэрміновую перспектыву. Распрацаваны і ўкаранёны праекты лесатранспартных сетак для ДЛГУ «Чэрвенскі лясгас», ДВЛГУ «Барысаўскі вопытны лясгас» і НП «Браслаўскія азёры» з абгрунтаваннем размяшчэння лесатранспартнай сеткі ў лясным фондзе і атрыманнем праектных матэрыялаў лясных дарог, запраектаваных у сістэме III пакалення CREDO «Дарогі».

**Ступень выкарыстання:** вынікі даследаванняў мэтазгодна выкарыстоўваць для ацэнкі даступнасці і якасці лясных рэсурсаў; выбару ўчасткаў ляснога фонду для перспектывага асваення; перспектывага і аператыўнага планавання лесатранспартных шляхоў да тэрыторыі асваення лясных масіваў; планавання развіцця лесатранспартнай сеткі і доступу да спадарожных трасе лясным і іншых прыродных рэсурсам.

**Вобласць прымянення:** на стадыі распрацоўкі праекта схемы транспартнага асваення ляснога фонду лесанарыхтоўчага прадпрыемства; на стадыі рабочага праекта будаўніцтва новых лясных аўтамабільных дарог.

## РЕЗЮМЕ

Бавбель Евгения Ивановна

Прогнозирование расположения лесотранспортной сети на основе динамики лесоводственно-таксационных характеристик насаждений

**Ключевые слова:** прогнозирование, лесотранспортный путь, лесоводственно-таксационные характеристики, проект лесотранспортной сети.

**Цель работы:** определение расположения лесотранспортной сети в эксплуатационных лесах на долгосрочную перспективу с учетом природно-производственных условий и таксационных характеристик насаждений для интенсивного ведения лесного хозяйства и лесопользования.

**Методы исследования и аппаратура:** в процессе проведения исследований применялись научно обоснованные методы моделирования и теории графов с использованием современных геоинформационных технологий для получения и обработки теоретических и экспериментальных данных.

**Научная новизна полученных результатов:** разработано параметрическое и общее системное описание лесотранспортной сети как структурного элемента лесозаготовительного предприятия, ведущего современное рациональное лесопользование. Установлены основные требования к размещению лесотранспортной сети, включающие: математическую модель выбора рациональной лесотранспортной сети как единое концептуальное описание конфигурации лесотранспортной сети в виде графа и параметров дорожных конструкций; метод прогнозирования расположения лесотранспортных путей на долгосрочную перспективу. Разработаны и внедрены проекты лесотранспортных сетей в эксплуатационных лесах для ГЛХУ «Червенский лесхоз», ГОЛХУ «Борисовский опытный лесхоз» и НП «Браславские озера» с обоснованием размещения лесотранспортной сети в лесном фонде и получением проектных материалов лесных дорог, запроектированных в системе III поколения CREDO Дороги.

**Степень использования:** результаты исследований целесообразно использовать для оценки доступности и качества лесных ресурсов; выбора участков лесного фонда для перспективного освоения; перспективного и оперативного планирования лесотранспортных путей к территориям освоения лесных массивов; планирования развития лесотранспортной сети и доступа к сопутствующим трассе лесным и другим природным ресурсам.

**Область применения:** на стадии разработки проекта схемы транспортного освоения лесного фонда лесозаготовительного предприятия; на стадии рабочего проекта строительства новых лесных автомобильных дорог.

## SUMMARY

Bavbel Eugenia Ivanovna

Forecasting arrangement a forest transport network on basis of lesovodstvenno-taksatsionnyh characteristics of plantings

**Key words:** a forest transport way, lesovodstvenno-taksatsionnye characteristics, a choice of design decisions, the project of a forest transport network.

**The purpose of work:** definition arrangement forest road networks in operational woods on long-term prospect taking into account nature-industrial conditions and taksatsionnyh characteristics of plantings for intensive conducting a forestry and forest management.

**Methods of research and the equipment:** in the course of carrying out of researches with use of modern geoinformation technologies the scientifically-proved methods of modeling and the theory of counts were applied to reception and processing theoretical and experimental data.

**Scientific novelty of the received results:** the parametrical and general system description of a transport network as structural element logging enterprise conducting modern rational forest management is developed. The basic requirements to placing of the transport network, including are established: mathematical model of a choice of a rational transport network as the uniform conceptual description of a configuration of a forest transport network in a kind of the count and parameters of road designs; a method of definition of sequence of building of wood roads and development of large forests on long-term prospect. Projects of transport networks in operational woods for SLEI «Chervensky timber enterprise», SLEEI «Borisovsky experimental enterprise» and NP «Braslavsky lakes» with a substantiation of placing of a transport network in wood fund and reception of design materials of wood roads, designed in system of III generation CREDO of Road are developed and introduced.

**Degree of use:** results of researches are expedient for using for an estimation of availability and quality of wood resources; a choice of sites of wood fund for perspective development; perspective and operational planning of forest transport ways to territories of development of large forests; planning of development of a forest transport network and access to wood line wood and other natural resources.

**Scope:** at a stage of working out of the project of the scheme of transport development of wood fund logging enterprises; at a stage of the equipment design of building of new wood highways.

Научное издание

**Бавбель Евгения Ивановна**

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЛЕСОТРАНСПОРТНОЙ  
СЕТИ НА ОСНОВЕ ДИНАМИКИ ЛЕСОВОДСТВЕННО-  
ТАКСАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАСАЖДЕНИЙ**

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

Ответственный за выпуск Е.И. Бавбель

Подписано в печать 26.11.2009. Формат 60×84 1/16.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 1,3. Уч.-изд. л. 1,4.  
Тираж 60 экз. Заказ 534 .

Учреждение образования  
«Белорусский государственный технологический университет».  
220006, Минск, Свердлова, 13а.  
ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования  
«Белорусский государственный технологический университет».  
220006, Минск, Свердлова, 13.  
ЛП № 02330/015077 от 16.01.2009.