



*На правах рукописи*

**Лобанов Юрий Владимирович**

**МЕТОДЫ И МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ  
ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ КАЧЕСТВАМИ  
ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

05.21.01 – Технология и машины лесозаготовок  
и лесного хозяйства

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Воронеж – 2010

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Воронежская государственная лесотехническая академия» (ГОУ ВПО «ВГЛТА»)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Бугаков Владимир Михайлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Подольский Владислав Петрович

доктор технических наук, профессор  
Сушков Сергей Иванович

Ведущая организация: ГОУ ВПО «Московский государственный университет леса»

Защита диссертации состоится 28 января 2011 г. в 13<sup>00</sup> час на заседании диссертационного совета Д 212.034.02 при Воронежской государственной лесотехнической академии (394613, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8, аудитория 240)

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ГОУ ВПО «ВГЛТА».

Автореферат разослан 20 декабря 2010 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Скряпников А.В.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.**

**Актуальность работы.** В стратегии развития лесопромышленного комплекса России на период до 2015 года лесное дорожное строительство занимает одно из ведущих мест. Для повышения доступности лесных ресурсов России и сохранения конкурентоспособности предприятий необходимо создать развитую сеть лесовозных автомобильных дорог высокого качества, так как на долю перевозки древесины автопоездами приходится до 80-90 % от общего объёма транспорта.

Темпы дорожного строительства в России сегодня намного ниже роста автомобильного парка страны. Так, при увеличении численности парка авто-транспортных средств на 10-12% в год, общая протяженность и пропускная способность дорог растет менее чем на 1% ежегодно. Отсутствие необходимого количества дорог – это лишь одна проблема, мешающая развитию экономики. Вторая – их качество. В настоящее время лишь 23% протяженности территориальной дорожной сети соответствует нормативным требованиям по транспортно-эксплуатационному состоянию, не говоря уже о дорогах местного значения, которые редко ремонтируются из-за недостатка финансирования. Это определяет крайне тяжёлые условия работы дорог и их повышенный износ, вызываемый высокой интенсивностью происходящих деградационных процессов. Впрочем, только вложением большего количества денег проблему не решить. Необходимо повышать качество их строительства.

Неудовлетворительное состояние значительной части сети дорог, недостаточная их протяжённость и развитость, увеличение изнашивающего воздействия на дорожную одежду постоянно растущего грузового движения, дефицит средств, направляемых на строительство и эксплуатацию лесовозных автомобильных дорог, привели к необходимости создания комплекса мероприятий по оптимизации программы дорожных работ и обеспечения эффективности использования вкладываемых в дороги средств с целью эффективного управления их качеством.

В связи с реализацией стратегии развития лесопромышленного комплекса в качестве её научного сопровождения актуальной задачей является совершенствование методов проектирования лесовозных автомобильных дорог в увязке с программой их развития и эксплуатации.

**Цель и задачи исследования.** Цель исследования состоит в разработке методов и моделей управления транспортно-эксплуатационными качествами лесовозных автомобильных дорог на основе анализа и математического моделирования их функционирования.

### **Задачи исследований:**

1. Разработать вероятностно-статистическую модель прогноза влажности любого типа грунта в основании земляного полотна за любой расчётный период.
2. Разработать технологию производства ресурсосберегающих конструкций дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог.
3. Разработать модель определения экономических границ зон действия поставщиков материалов в зонах экономической неопределенности.
4. Разработать метод управления качеством ремонтных работ участков лесовозных автомобильных дорог с получением критерия сходимости итерационной процедуры решения задачи минимизации сроков их выполнения.

**Объектом исследования** являются процессы, связанные с организацией и управлением ресурсным обеспечением строительства и эксплуатации лесовозных автомобильных дорог.

**Предметом исследований** являются математические модели и методы стратегии повышения качества лесовозных автомобильных дорог.

**Методы исследований.** Системный анализ и теория прогнозирования, теории вероятностей и надёжности, многомерная математическая статистика, общепринятые теоретические положения в области проектирования, организации и технологии дорожного строительства, современные компьютерные технологии обработки математической информации.

**Научная новизна.** К числу важнейших результатов диссертационной работы, обладающих научной новизной, относятся следующие:

1. Методика прогноза влажности грунтов в основании земляного полотна, отличающаяся учётом средней многолетней влажности грунта, глубиной залегания грунтовых вод и физическими свойствами грунта.

2. Технологии по оптимизации конструкций дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог, отличающиеся возможностью сократить расход энергоносителей, повысить долговечность асфальтобетонных покрытий, улучшить их качество.

3. Модель определения экономических границ зон действия поставщиков материалов, отличающаяся учётом вероятностного характера стоимости строительного материала.

4. Метод управления качеством лесовозных автомобильных дорог, отличающийся учётом критерия сходимости итерационной процедуры решения задачи минимизации сроков выполнения работ по ремонту участков дорог.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Вероятностно-статистическая модель прогноза влажности грунта земляного полотна.

2. Технологии ресурсосберегающих конструкций дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог.

3. Модель определения экономических границ зон действия поставщиков материалов.

4. Метод управления качеством ремонтных работ участков лесовозных автомобильных дорог, дающий критерий сходимости итерационной процедуры решения задачи минимизации сроков их выполнения.

**Практическая значимость работы.** На основании выполненных исследований созданы модели, позволяющие обеспечить:

- повышение долговечности и прочности конструктивных элементов земляного полотна лесовозных автомобильных дорог;

- снижение стоимости строительства лесовозных дорог созданием ресурсосберегающих конструкций дорожных одежд;

- определение зоны риска с заданным уровнем надёжности на конечном маршруте от поставщика к потребителю;

- оптимальные режимы движения грузовых автомобилей в зависимости от дорожных условий;

- рекомендации о минимальных сроках завершения ремонтных работ, дающие критерий сходимости итерационной процедуры решения поставленной задачи.

Результаты исследований использованы при строительстве, реконструкции и ремонте лесовозных автомобильных дорог России.

**Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается: методологической базой исследований, основанной на фундаментальных теориях, проверкой достаточности объема данных для однозначного толкования результатов исследований; оправдываемостью независимых прогнозов температурных и влажностных режимов асфальтобетонных смесей и грунтовых резервов при сопоставлении с натурными наблюдениями, сходимостью результатом аналитических и фактических значений, оцениваемых параметров; оценкой точности вычисляемых параметров.

**Личный вклад и решение проблемы** заключается в формулировании общей идеи, цели работы, выполнения теоретической и значительной части экспериментальных исследований, обобщения результатов, участия в обследовании опытных участков; разработке и внедрении практических рекомендаций.

**Реализация работы.** Основные научные разработки внедрены: ОАО «Дорстрой» ДСФ-3 – при назначении мероприятий по повышению эксплуатационного уровня дорог (2009, Воронежская обл.); ТОГАУ «Уваровский лесхоз» – при определении транспортной составляющей себестоимости перевозок лесопродукции (2009, Тамбовская обл.); ЛОГУП «Теллермановский лесхоз» - при определении оптимального транспортного плана (2009, г. Борисоглебск), ЛОГУП «Тербунский лесхоз» - при прогнозе влажности грунтов земляного полотна лесовозных автомобильных дорог (по результатам обследования 2005-2010, Липецкая обл.); ООО «Коми республиканский центр новых технологий и энергосбережений и К (КРЦНТЭиК)» - при апробации технологий ресурсосберегающих конструкций дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог (по результатам обследования 2000-2010, Республика Коми).

Разработанные математические модели прогнозирования влажности грунтов земляного полотна, алгоритмы и программы для ЭВМ, реализующие эти модели, используются в учебном процессе Воронежской государственной лесотехнической академии.

**Апробация результатов работы.** Результаты работы обсуждались и получили положительную оценку на международных и региональных научно-технических конференциях: международной научно-практической конференции «Ресурсосберегающие и экологические перспективные технологии и машины лесного комплекса будущего» (г. Воронеж, 2009 г.); международной научно-практической интернет-конференции «Леса России в XXI веке» (г. Санкт-Петербург, 2009-2010 гг.); международной научно-технической конференции «Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ-2009)» (г. Курск, 2009 г.); научной международной конференции «Мониторинг окружающей среды» (Италия, Рим, Флоренция, 2010 г.); научной международной конференции «Приоритетные направления развития науки, технологий и техники» (Египет, Хургада, 2010 г.).

**Публикации.** Материалы диссертационного исследования опубликованы в 19 научных работах объёмом 17,8 п.л. (авторских – 8,2 п.л.), в том числе в монографии и пяти изданиях, определенных ВАК Минобрнауки России.

**Структура и объём работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, основных выводов и рекомендаций, списка использованных источников из 172 источника, 4 приложений. Содержание работы изложено на 199 страницах машинописного текста, иллюстрировано 47 рис. и 12 табл.

### **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во «**Введении**» обоснованы актуальность темы диссертационной работы, сформулированы её цель и задачи, научные положения, выносимые на защиту, подчеркнута теоретическая и практическая значимость, а также научная новизна работы.

В первой главе «**Современные методы и модели для оценки качества лесовозных автомобильных дорог**» выполнен анализ научных основ и практических методов, необходимых для оценки транспортно-эксплуатационного состояния лесовозных автомобильных дорог.

У истоков исследований стояли крупные российские учёные: Н.Н. Иванов, А.К. Бируля, В.Ф. Бабков, Н.П. Вырко, И.И. Леонович, А.А. Камусин, А.М. Кривисский, М.Б. Корсуновский, В.К. Курьянов, В.П. Подольский, Э.О. Салминен, В.А. Чернигов, И.Р. Шегельман, Ю.М. Яковлев и другие. Изыскивались и создавались новые дорожно-строительные материалы: битумы, улучшенные полимерными добавками; каменные материалы, укрепленные золами уноса, молотыми шлаками, комбинированными вяжущими; расширился диапазон использования в дорожном строительстве различных местных материалов.

Конструкции дорожных одежд, несмотря на кажущуюся простоту, чрезвычайно сложны для математического описания, в связи с чем, значительное место в научных исследованиях занимают экспериментальные работы и натурные обследования. Сложность строго математического описания процессов деформирования дорожных одежд под влиянием транспортных воздействий и изменяющихся во времени атмосферных условий в сочетании с необходимостью рассматривать жизненный цикл конструкции на протяжении нескольких десятилетий, делает дорожные одежды объектом постоянного внимания науки. Решение практических задач конструирования и расчёта дорожных одежд требует проведения теоретических и широкомасштабных экспериментальных исследований.

В соответствии с этим были сформулированы основные направления исследований, продиктованные необходимостью разработки методов и моделей, обеспечивающих обширные возможности своевременного выявления уязвимостей и угроз, прогнозирования состояния дорог, позволяющие повысить их долговечность и надёжность в процессе эксплуатации, обеспечить эффективность вывозки древесины при оптимальных дорожных затратах.

Во второй главе «**Прогнозирование влажности грунтов для повышения долговечности конструктивных элементов лесовозных автомобильных дорог**» определены пути расчёта влажности грунтов земляного полотна лесовозных автомобильных дорог аналитическим методом.

Земляное полотно – один из основных элементов лесовозной автомобильной дороги, от устойчивости, прочности и долговечности которого зависит рабо-

тоспособность дорожных одежд и всего сооружения, требующее минимума расходов на его устройство, содержание и ремонт.

Для подготовки исходного хронологического ряда среднемесячной естественной влажности грунтов на планируемых участках возведения земляного полотна лесовозных автомобильных дорог требуются натурные наблюдения. Анализ современных исследований показал, что для расчётов естественной влажности грунтов наиболее перспективен метод гидролого-климатических расчётов, основанный на решении уравнений водно-теплового баланса грунтового слоя и атмосферы.

В соответствии с взаимодействием аэрационных и капиллярных сил влажность грунта в зоне аэрации (рис. 2.1) определяется как:  $W_{пв}$  (полной влагоёмкости) на уровне грунтовой воды до  $W_{пв}$  (наименьшей влагоёмкости) на уровне капиллярной каймы  $h_{кк}$  и до  $W_A$ .

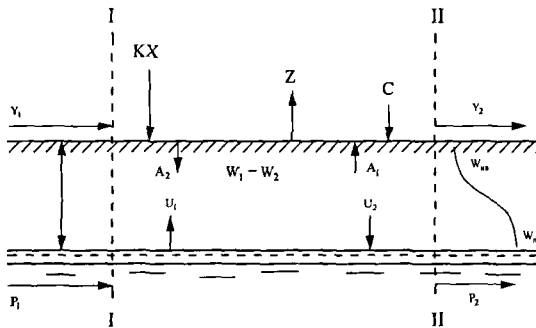


Рис. 2.1 Схема влагообмена расчётного грунтового слоя с атмосферой  
Общий вид составленного уравнения водного баланса

$$\begin{aligned} KX + C + W_1 - W_2 + Q_1 - Q_2 = \\ = Z + (Y_2 - Y_1) + (G_2 - G_1) + (S_2 - S_1) + (P_2 - P_1) \end{aligned} \quad (2.1)$$

где  $KX$  - сумма атмосферных осадков;  $C$  - конденсация водяных паров;  $Z$  - суммарное испарение;  $Y_1$  и  $Y_2$  - приток и отток поверхностных вод;  $G_1$  и  $G_2$  - приток и отток влаги в расчётном слое  $h_p$ ;  $S_1$  и  $S_2$  - приток и отток грунтовой воды в расчётном слое  $h_{ГВ} - h_p$ ;  $P_1$  и  $P_2$  - приток и отток грунтовых вод;  $W_1$  и  $W_2$  - влажность грунта в слое  $h_p$  на начало и конец расчётного периода времени;  $Q_1$  и  $Q_2$  - влагозапасы на начало и конец расчётного периода времени.

После преобразований

$$KX + W_1 - W_2 + P_2 - P_1 = Z + (Y_2 - Y_1) + (P_2 - P_1), \quad (2.2)$$

где  $Z$  - испарение;  $Y$  - сток.

Меняя  $Z$  и  $Y$  можно направленно регулировать изменение влажности  $W_1 - W_2$  грунтов на планируемых участках возведения земляного полотна лесовозных автомобильных дорог.

Так как величины уравнения (2.2) зависят от радиационного и турбулентного теплообмена грунтовой поверхности с атмосферой, то будем рассматривать

влагообмен грунтовой поверхности с атмосферой в единстве с процессом теплообмена

$$LZ_m = R^+ + P^+, \quad (2.3)$$

где  $R^+$  - радиационный баланс (разность между поглощенной радиацией Солнца и балансом длинноволнового излучения);  $Z_m$  - максимально возможное испарение влаги с грунтовой поверхности (верхний предел испарения).

Для практических расчётов по формуле (2.3) установлены эмпирические зависимости радиационного баланса от суммы среднемесячных температур

$$\text{Для суглинистых грунтов и глин } Z_{mr} = 6,17 \sum_{t>0}^{cm} + 265;$$

$$\text{Для супесчаных грунтов и песков } Z_{mr} = 4,99 \sum_{t>0}^{cm} + 243.$$

Совместное решение балансовых уравнений (2.2) и (2.3) после преобразований даёт уравнение водно-теплового баланса вида

$$\frac{r}{r+1} \cdot \frac{Z_{m,i}}{LW_T} W'_{cp,i} + W_{cp,i} = \frac{r}{r+1} \cdot \frac{KX_i - m_i + g_i}{LW_T} + W_{1,i}, \quad (2.4)$$

где  $r$  - параметр, характеризующий водно-физические свойства грунта (для супесей, суглинков лёгких 1,5; суглинков тяжёлых, глин - 2,5);  $W_{cp,i}$  - средняя влажность грунта;  $W_{1,i}$  - влажность грунта на начало  $i$  - расчётного периода.

Полученное рекуррентное уравнение (2.4) позволяет рассчитать среднюю влажность любого типа грунта естественного увлажнения  $W_{cp}$  в пределах деятельного слоя за любой  $i$ -й расчётный период времени (квартал, месяц, декаду) по данным наблюдений за температурой, дефицитом влажности воздуха, осадками.

Для повышения надёжности принимаемых решений представляется целесообразным прогнозировать влажность грунтов в пределах доверительного интервала

$$W_{p,i} = W_{cp,i} (1 \pm \Phi_p C_{v,i}), \quad (2.5)$$

где  $\Phi_p$  - нормированное отклонение;  $C_{v,i}$  - коэффициент вариации относительной влажности грунта в  $i$ -й месяц сезона возведения.

При оценке точности расчётов максимальная ошибка не превышает пределы доверительного интервала с надёжностью  $P=95\%$ .

Для оценки степени увлажнения грунтов в отдельные годы определялся коэффициент увлажнения района возведения земляного полотна, представляющий отношение годовых сумм атмосферных осадков к максимально-возможному испарению

$$U_x = \frac{KX_T}{Z_{mr}}, \quad (2.6)$$

где  $U_x$  - интегральный показатель увлажнения территории, коэффициент увлажнения;  $KX_T$  и  $Z_{mr}$  - сумма атмосферных осадков и максимально возможное испарение за год соответственно.

Для изучения многолетних изменений влажности грунта и коэффициента увлажнения был проведён корреляционно-спектральный анализ. Проверялись



3 гипотезы: об отсутствии тренда в значениях коэффициента увлажнения и влажности грунта, о стационарности и нормальности распределения случайной компоненты. Для выявления цикличности рассмотрены закономерности изменения корреляционной функции временного ряда

$$R_x(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^{n-\tau} (x_i - \bar{x}_1)(x_{i+\tau} - \bar{x}_{i+\tau})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n-\tau} (x_i - \bar{x}_1)^2 (x_{i+\tau} - \bar{x}_{i+\tau})^2}}, \quad (2.7)$$

где  $x_i$  -  $i$ -е значение ряда;  $\bar{x}_1$  - среднее многолетнее значение ряда от первого до  $(n - \tau)$ -го члена;  $n$  - общее число членов ряда;  $\bar{x}_{i+\tau}$  - среднее многолетнее значение ряда от  $(i + \tau)$ -го ряда до  $n$ -го члена для всех целочисленных значений  $\tau$  до  $\tau=20$ .

Оправдываемость прогнозов составляет 84-100 % (на примере участка дороги в зоне действия Тербунского лесхоза). Результаты прогнозов дают возможность заблаговременно получить информацию, необходимую для оценки возможности сооружения насыпи из анализируемого грунта, проектирования рациональной технологии, проведения организационно-технологических мероприятий по нормализации водно-теплого режима и долговечности конструктивных элементов лесовозных автомобильных дорог.

В третьей главе «Ресурсосберегающие конструкции дорожной одежды лесовозных автомобильных дорог» произведён поиск оптимальных конструкций дорожных одежд с учётом мероприятий по повышению их несущей способности.

Общая ресурсоёмкость дорожных объектов на 60-70 % определяется потребностью различного рода ресурсов в строительстве дорожной одежды, земляного полотна и искусственных сооружений лесовозных автомобильных дорог. С целью снижения энергоёмкости процесса сооружения дорожных одежд, разработанная технология производства минеральных смесей на основе вспененных битумов. При применении вспененных вяжущих снижается расход битума (до 10 % массы вяжущего) и время смешивания материалов (на 20-25 %), при этом имеется возможность снизить температуру нагрева вяжущего и минеральных материалов, что обеспечивает сокращение расхода энергоносителей и повышает долговечность асфальтобетонных покрытий. За счёт уменьшения интенсивности деструкционных процессов при нагреве битума до 130°C межремонтные сроки увеличиваются на 5-6 лет. Для вспенивания битума используется установка для вспенивания битума (битумная пена получается путём подачи битума в камеру смешивания).

Укладка смеси с вспененным битумом производится только в нижний слой 2-х слойного покрытия толщиной 6 см. Нижний слой покрытия сразу перекрывается верхним слоем плотной асфальтобетонной смеси с содержанием битума 4-5 см. Экономический эффект внедрения технологии вспененного битума составляет 602,2 тыс. руб.

Ввод в действие новой инструкции по расчёту дорожной одежды нежёсткого типа ОДН-218.046.-01 требует пересмотра технологии поиска оптимальных конструкций дорожных одежд. Оценка прочности дорожных одежд показывает,

что толщина конструкций в основном определяется расчётом на сдвиг в подстилающих слоях основания земляного полотна. В связи с этим задача оптимизации конструкции дорожной одежды сводится к поиску дешевого и прочного основания дорожной одежды.

Лабораторные испытания мела (содержание карбонатных пород – до 97 %, влажность на границе текучести – 38 %, раскатывания – 26 %, число пластичности – 12 %) показывают его способность к цементации без обработки вяжущим. Опытно-экспериментальный участок был построен в зоне действия автомобильной дороги Ираель-Ижма-Усть-Цильма (табл.3.1).

Относительная влажность грунта земляного полотна на опытном участке с основанием из мела оказалась в 1,2 раза меньше, чем в случае отсутствия мела. Оценка прочности слоёв дорожной одежды выполнялась установкой динамического нагружения ДИНА-3М (передвижная дорожная лаборатория 38473-0000010 КП-514МП). Определялись модули упругости на поверхности: основание, песчаный слой, слой из мела. Верхний слой из плотного асфальтобетона не был уплотнен. Модуль упругости измерялся через 200 м по полосе наката. Результаты испытаний показали, что прочность конструктивных слоёв обеспечена. При этом установлена зависимость прочности основания из мела и конструкции в целом от несущей способности грунтового основания

$$E_m = 2,0156E_{гр} - 6,0796, \quad (3.1)$$

$$E_{до} = 0,9349E_{гр} + 98,324. \quad (3.2)$$

Таблица 3.1 – Прочность опытного участка лесовозной автомобильной дороги Ираель-Ижма-Усть-Цильма (Республика Коми)

№ п/п	Материал конструкции	E <sub>упр</sub> на поверхности конструктивного слоя, МПа по годам					
		2000	2002	2004	2006	2008	2010
1	Мел	130	142	154	161	165	167
2	Песчано-щебеночная смесь	410	165	151	131	121	120
3	Грунт земляного полотна - суглинок	28	24	22	-	105	98

С целью оценки возможности использования местных грунтов в основании дорожной одежды рассмотрены 7 вариантов возможных конструкций дорожных одежд. Покрытие представлено мелкозернистым и крупнозернистым асфальтобетоном марки 3 типа «В» и марки 2 соответственно. В несущем слое использовались: местный суглинок, укрепленный стабилизатором грунта, прослойкой из геотекстиля и без него; суглинок лёгкий повышенной плотности; укладка под основание нетканого синтетического материала «Дорнит». При оценке прочности использование основания из уплотнённого грунта повысило модуль упругости с 59 МПа до 81 МПа, что позволило снизить толщину основания из щебня до 10 %, а дренажная прослойка из Дорнита дополнительно увеличила прочность основания до 98 МПа.

Проведенные исследования позволили разработать систему управления базой данных ресурсосберегающих конструкций дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог (Resurs.exe, свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2010610775, п.18). В составе базы данных содержится информация по административным и территориальным областям: грунтово-геологические условия, наличие местных дорожно-строительных материалов и т.п.

В качестве целевой функции при оптимизации конструкции дорожной одежды используется минимум приведённых затрат  $P_{np}$

$$P_{np} = K_j (C_{до} + C_{зп} + C_{об}) + \sum_{t=1}^{T_c} \frac{C_{gt} + C_{nt} + C_{st} + C_{dt}}{(1+E)^t} \frac{C_o}{(1+E)^{T_c}} \rightarrow \min, \quad (3.3)$$

где  $C_{gt}, C_{nt}, C_{st}, C_{dt}$  - затраты на перевозку грузов, приобретение подвижного состава, ДТП, эксплуатационные расходы;  $T_c$  - расчётный срок службы конструкции.

В четвёртой главе «Обоснование источников снабжения объектов ресурсами в условиях вероятностного характера дорожного строительства лесовозных автомобильных дорог» проведен анализ экономических зон действия поставщиков материалов для строительства лесовозных автомобильных дорог для определения зоны риска.

Транспортировка материалов является одним из важнейших элементов дорожного строительства лесовозных автомобильных дорог. Транспортные расходы составляют 30-50 % от общей сметной стоимости дорожных работ, а в некоторых случаях приближаются к стоимости самого материала и превышают её. Одним из эффективных путей снижения транспортных расходов является использование местных строительных материалов, отвечающим всем нормативным требованиям. Регрессионный анализ затрат на снабжение 20-и объектов строительства, показал, что стоимость строительства основания из щебня зависит от дальности автотранспортных перевозок

$$C_{тр}^{щ} = 4,24L_{ат}^{0,159}. \quad (4.1)$$

При определении экономических зон действия поставщиков материалов на основе граничных значений стоимости всегда имеется зона экономической неопределенности (зона риска), определяемая транспортными затратами на завершающем маршруте перевозки материала

$$L_{риска} = \frac{2t\sigma_{i,j} - a}{b}, \quad (4.2)$$

где  $\sigma_{i,j}$  - среднее квадратичное отклонение стоимости щебня.

Для определения поставщиков внутри этой зоны проводятся технико-экономические расчёты стоимости материала в текущих ценах на период строительства.

В связи с круглогодичной перевозкой материалов для строительства лесовозных автомобильных дорог разработана математическая модель движения грузовых автомобилей в зависимости от дорожных условий.

$$v_S = \sqrt{\left\{ v_{\text{вх}}^2 - \frac{3,6^2}{b} [a - (i + f)] - \frac{2g\Delta S}{\delta} + \frac{3,6^2}{b} [a - (i + f)] \right\}}, \quad (4.3)$$

где  $a, b$  - переменные коэффициенты, зависящие от величины открытия дроссельной заслонки, передачи, на которой движется автомобиль, и его марки;

Для введения значений  $a$  и  $b$  в каждый последующий шаг расчёта определяется закономерность изменения их значений в виде интерполяционных многочленов для каждой передачи.

Скорость на спуске определяется по следующей эмпирической зависимости

$$v_S = v_{\text{вх}} (1 + S\alpha), \quad (4)$$

где  $0 \leq i \leq 10\%$ ,  $\alpha = 0,05$ ;  $10\% \leq i \leq 20\%$ ,  $\alpha = 0,095$ ;  $20\% \leq i \leq 40\%$ ,  $\alpha = 0,20$ .

Учёт совместного влияния дорожных условий на скорость грузовых автомобилей позволил увеличить коэффициент множественной корреляции до 0,97, что доказывает эффективность использования разработанной модели.

В пятой главе «Информационно-аналитическое обеспечение процесса управления качеством лесовозных автомобильных дорог» разработан метод управления качеством ремонтных работ, создано информационно-аналитическое обеспечение процесса обследования участков лесовозных автомобильных дорог.

В настоящее время планирование ремонтных работ осуществляется по существующим межремонтным срокам при отсутствии объективной информации о состоянии проезжей части, транспортно-эксплуатационных качествах дороги. Для создания системы оптимального планирования существует  $Z$  возможных вариантов ремонтных работ, требующих затрат  $Q_i$ . Фактическое состояние дорожной одежды, оцениваемое показателем  $W_i$  определяет сроки проведения ремонтов  $t_i$ . Тогда

$$R(Q_i, t_i) \rightarrow W_{\text{max}} \text{ при } Q_i \rightarrow \min \text{ и } t_i \rightarrow j. \quad (5.1)$$

Практическое решение задачи достигается при минимизации среднегодовых суммарных дорожно-транспортных затрат с учётом стоимостей средних, текущих ремонтов и транспортных затрат

$$Z_{\text{ср}} = \frac{Q}{t} + \frac{\sum_0^t L(t)}{t} + \frac{\sum_0^t T(t)}{t} \rightarrow \min, \quad (5.2)$$

где  $Q, L(t)$  - затраты на средний и текущий ремонт;  $T(t)$  - транспортные затраты;  $t$  - координата времени.

Затраты на выполнение среднего ремонта  $Q$  определяют на основе калькуляций дорожной организации в зависимости от вида выполняемых ремонтных работ. По материалам экспериментальных исследований и обработки статистических данных определены среднегодовые затраты на текущий ремонт

$$\frac{\sum_0^t L(t)}{t} = \frac{4,1 \cdot 10^{-3} F \rho \psi \theta^3 \sqrt{N_p q^{-t_0}} e^{0,125 \sqrt{K_{\text{нр}} t}}}{t K_{\text{нр}}^{7,5}} \left( e^{0,125 \sqrt{K_{\text{нр}} t}} - 1 \right), \quad (5.3)$$

где  $F$  - площадь покрытия на 1 км дороги,  $\text{м}^2$ ;  $\rho$  - стоимость текущего ремонта 1  $\text{м}^2$  покрытия с учётом местных условий,  $\text{руб}/\text{м}^2$ ;  $\psi$  - коэффициент, учитываю-

щий затраты на содержание проезжей части;  $N_p$  - расчётная интенсивность движения;  $q$  - среднегодовой прирост интенсивности движения;  $K_{np}$  - коэффициент запаса прочности;  $t_0$  - срок службы покрытия до нулевого года наблюдений.

Транспортная составляющая суммарных затрат зависит от интенсивности и состава движения, а также себестоимости перевозок. Для определения характера изменения себестоимости перевозок во времени был изучен вопрос деградации ровности покрытия. С учётом прогнозирования состояния ровности проезжей части и после соответствующей корреляции получим среднегодовые суммарные транспортные затраты (свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2010610906, п.17)

$$\frac{\sum_0^t T(t)}{t} = 306N_p \left\{ 0,106 + 9 \cdot 10^{-5} S_0 + \right. \\ \left. + 1,8 \cdot 10^{-3} \frac{\alpha}{t} \left[ e^{0,05t} (t - 20) \right] + 20 \right\}. \quad (5.4)$$

где  $a(t)$  - себестоимость перевозок для расчётного автомобиля, руб./маш км.

Учитывая выражения (5.3) и (5.4) определяем среднегодовые суммарные дорожно-транспортные затраты по формуле (5.2) с учётом условия (5.1). Оптимизация планирования ремонтных работ заключается в последовательном переборе различных вариантов ремонта с учётом их стоимости и эффективности. Из рассмотренных вариантов выбирается тот, который обеспечивает минимальные суммарные дорожно-транспортные затраты.

Задача о минимальных сроках завершения работ по ремонту участков лесовозных автомобильных дорог с учётом дополнительных затрат, направляемых на сокращение времени выполнения работ складывается из соответствующих затрат, возникающих при выполнении отдельных работ, составляющих весь комплекс. Обозначим через  $n$  число участков ремонта, а через  $y_i$  - число вариантов производства работы  $i$ . Каждому варианту производства работ соответствует своя продолжительность строительства и, соответственно, свои затраты. Общая продолжительность выполнения всего комплекса работ будет зависеть от продолжительности каждой из работ.

Первый вариант будет характеризовать ситуацию, когда участок ремонтируется в нормативные сроки, а вариант с максимальным номером соответствует способу производства работ с максимальной интенсивностью за минимальные сроки. Ремонтные работы разделим на: независимые и последовательные.

*Независимые работы.* Обозначим через  $x_{ij} = 1$ , если для  $i$ -ой работы выбран вариант  $j$  и  $x_{ij} = 0$  в противном случае. Так как для каждой работы выбирается один вариант, то должно выполняться условие

$$\sum x_{ij} = 1, i = \overline{1, n}. \quad (5.5)$$

Обозначим далее  $\tau_{ij}$  - продолжительность выполнения работы (ремонта участка)  $i$  при варианте  $j$ ,  $S_{ij}$  - затраты на реализацию данного варианта производства работ. Тогда продолжительность комплекса работ определяется величиной

$$R = \max_i \sum_j x_{ij} \tau_{ij} \leq R_T, \quad (5.6)$$

а суммарные затраты

$$S = \sum_{i,j} x_{ij} S_{ij}. \quad (5.7)$$

Задача заключается в определении  $x = \{x_{ij}\}$ , минимизирующих (5.7) при ограничениях (5.5) и (5.8). Решение этой задачи для независимых работ достаточно велико.

Примем без ограничения общности, что для всех  $i$

$$\tau_{i1} > \tau_{i2} > \dots > \tau_{im}, S_{i1} > S_{i2} > \dots > S_{im}.$$

В этом случае для каждой работы определяем вариант с максимальным номером  $j_i$ , такой что  $\tau_{ij_i} \leq R_T$ . Совокупность номеров  $j_1, j_2, \dots, j_n$  определяет оптимальное решение задачи с минимальными затратами  $S_{\min} = \sum_i S_{ij_i}$ .

Меняя  $R_T$ , можно получить параметрическую зависимость минимальных затрат от продолжительности ремонта.

*Последовательные работы.* В случае последовательного выполнения работ продолжительность выполнения комплекса работ определяется выражением

$$T = \sum_{i,j} x_{ij} \tau_{ij} \leq R_T. \quad (5.8)$$

Задача заключается в определении  $\{x_{ij}\}$ , минимизирующих (5.7), при ограничениях (5.5) и (5.8). Для решения применяется метод динамического программирования. Полученные результаты для независимых и последовательных работ применяются для решения задачи в случае агрегируемых графиков. Знак (max) в вершинах дерева соответствует параллельному множеству работ, а знак (+) – последовательному. Двигаясь снизу вверх по дереву агрегирования, решается задача минимизации затрат для последовательных и независимых объектов. В результате для корневой вершины дерева агрегирования получаем агрегированную зависимость минимальных затрат от продолжительности работ. Двигаясь в обратном направлении от корневой вершины к висячим элементам, определяем вариант выполнения для каждой работы.

Отмеченное свойство позволяет эффективно решать задачи оптимизации затрат для последовательных и параллельных множеств работ на каждом шаге как задачи выпуклого программирования.

### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана математическая модель, выполняющая расчёты не только величины многолетней влажности грунтов, но и значений влажности за конкретные годы, учитывающая глубину залегания грунтовых вод, физические свойства грунта.

2. Разработана технология производства минеральных смесей на основе вспененных битумов, обеспечивающая сокращение расхода энергоносителей и повышение долговечности асфальтобетонных покрытий.

3. Использование грунтов повышенной плотности из местных материалов в основании дорожных одежд является наиболее экономичным способом повышения их долговечности и снижения стоимости строительства, позволяет увеличить прочность грунтового основания до 98 МПа и уменьшить толщину щебня на

10 %. С целью обеспечения прочности грунтового основания в процессе длительной эксплуатации предлагается устройство изоляционных слоев из грунта, обработанного органическим вяжущим из нетканого синтетического материала по типу «грунт в обойме». 10 лет эксплуатации опытного участка лесовозной автомобильной дороги Израель-Ижма-Усть-Цильма позволяют сделать вывод о целесообразности использования мела в дорожном основании с асфальтобетонным покрытием.

4. Разработана зависимость для определения зоны риска с заданным уровнем надёжности в зависимости от среднеквадратического отклонения стоимости материала и транспортных затрат на конечном маршруте от поставщика к потребителю.

5. Проведённые исследования адекватности разработанной модели режимов движения грузовых автомобилей с фактическими показателями скорости, позволяют сделать вывод о возможности использования модели для определения показателей скорости транспортного потока и одиночных автомобилей в зависимости от дорожных условий.

6. Создана система оптимального планирования, обеспечивающая удовлетворительное состояние проезжей части лесовозных автомобильных дорог при минимальных затраченных ресурсах.

7. Получены зависимости от минимальных сроках завершения работ, позволяющие получить критерий сходимости итерационной процедуры решения задачи минимизации продолжительности выполнения комплекса работ по ремонту участков лесовозных автомобильных дорог.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В РАБОТАХ:**

#### **Публикации в изданиях, определенных ВАК Минобрнауки России**

1. Курьянов, В.К. Алгоритмы и программы моделирования процесса функционирования лесовозной дороги в системе автоматизированного проектирования / В.К. Курьянов, О.В. Рябова, Е.В. Кондрашова, Ю.В. Лобанов // «Системы управления и информационные технологии». - №1.3(31), 2008. – С. 384-388 (авторское участие – 0,1 п.л.).

2. Лобанов Ю.В. Технологии проектирования лесовозных автомобильных дорог / Ю.В. Лобанов, Е. В. Кондрашова Е.В., А.В. Тарарыков // Бюллетень транспортной информации (БТИ). Информационно-практический журнал. - №12 (162), 2008. – С.29-32 (авторское участие – 0,1 п.л.).

3. Курьянов, В.К. Энергосберегающие технологии проектирования лесовозных автомобильных дорог / В.К. Курьянов, О.В. Рябова, Е.В. Кондрашова, А.В. Скрипников, Ю.В. Лобанов // «Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского» – №2(12)/2008. – Т.2. Серия Технические науки, Тамбов, 2008. – С. 174-180 (авторское участие – 0,11 п.л.).

4. Рябова, О.В. Повышение транспортно-экологических качеств автомобильных дорог: модели, алгоритмы / О.В. Рябова, А.В. Скрипников, Е.В. Кондрашова, Ю.В. Лобанов // «Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского» – №4(14)/2008. – Т.2. Серия Технические науки, Тамбов, 2008. – С. 180-184 (авторское участие – 0,09 п.л.).

5. Лобанов, Ю.В. Режимы движения автомобильных потоков в различных дорожных условиях / Ю.В. Лобанов, Е.В. Кондрашова Е.В., А.В. Тарарыков // Бюллетень транспортной информации (БТИ). Информационно-практический журнал. - №3 (165), март, 2009. – С.33-35 (авторское участие – 0,08 п.л.).

#### **Монографии**

6. Курьянов, В.К. Повышение эффективности обследования автомобильных дорог в районах лесозаготовок / В.К. Курьянов, Е.В. Кондрашова, Ю.В. Лобанов. – М.: ИД «Академия Естествознания», 2010. – 130 с. (авторское участие – 3,25 п.л.).

#### **Статьи и материалы Всероссийских и международных конференций**

7. Курьянов, В.К. Энергосберегающие проектные решения / В.К. Курьянов, Е.В. Кондрашова, Ю.В. Лобанов // «Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ». Вып. 7. – Петрозаводск: изд-во ПетрГУ, 2008. – С. 57-60 (авторское участие – 0,09 п.л.).

8. Лобанов, Ю.В. Надёжность работы системы «водитель-автомобиль-дорога-среда» / Ю.В. Лобанов, Е.В. Кондрашова, Р.А. Гниломедов // «Ресурсосберегающие и экологические перспективные технологии и машины лесного комплекса будущего»: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 55-летию ЛИФ ВГЛТА, сентябрь, 2009. – С.288-293 (авторское участие – 0,15 п.л.).

9. Лобанов, Ю.В. Повышение качества лесовозных автомобильных дорог / Ю.В. Лобанов, Е.В. Кондрашова, Р.А. Гниломедов // «Ресурсосберегающие и экологические перспективные технологии и машины лесного комплекса будущего»: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 55-летию ЛИФ ВГЛТА, сентябрь, 2009. – С.293-298 (авторское участие – 0,15 п.л.).

10. Лобанов, Ю.В. Обеспечение требуемой прочности дорожной одежды автомобильных дорог в районах лесозаготовок / Ю.В. Лобанов, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова // Леса России в XXI веке: материалы второй международной научно-практической интернет-конференции. – Санкт-Петербург, ноябрь, 2009. – С.157-161 (авторское участие – 0,09 п.л.).

11. Кондрашова, Е.В. Прогнозирование числа дорожно-транспортных происшествий / Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова, Ю.В. Лобанов, О.В. Свиридов // «Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ-2009)»: сборник статей 1 Международной научно-технической конференции; Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 2009. – С.156-161 (авторское участие – 0,09 п.л.).

12. Лобанов, Ю.В. Экологическая безопасность автомобильного транспорта / Ю.В. Лобанов, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова, Д.Ю. Сухов // «Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ-2009)»: сборник статей 1 Международной научно-технической конференции; Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 2009. – С.150-155 (авторское участие – 0,09 п.л.).

13. Лобанов, Ю.В. Повышение системы транспортного образования / Ю.В. Лобанов, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова // "Современные наукоемкие технологии" №9: материалы научной международной конференции «Приоритетные направления развития науки, технологий и техники», Египет (Хургада), 15-22 августа 2010. – С.157-158 (авторское участие – 0,05 п.л.).



14. Лобанов, Ю.В. Экологическая безопасность лесовозных автомобильных дорог / Ю.В. Лобанов, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова // «Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований» №9: материалы научной международной конференции «Мониторинг окружающей среды», Италия (Рим, Флоренция), 12-19 сентября 2010. – С. 79-80 (авторское участие – 0,05 п.л.).

15. Лобанов, Ю.В. Предложения по контролю прочности дорожных одежд автомобильных дорог в районах лесозаготовок / Ю.В. Лобанов // Леса России в XXI веке: материалы пятой международной научно-практической интернет-конференции. – С.-Пб, ноябрь, 2010. - С.157-159 (авторское участие – 0,19 п.л.).

16. Лобанов, Ю.В. Мероприятия по повышению эффективности эксплуатации лесовозных транспортных средств / Ю.В. Лобанов // Леса России в XXI веке: материалы пятой международной научно-практической интернет-конференции. – С.-Пб., ноябрь, 2010. - С.159-161 (авторское участие – 0,125 п.л.).

#### **Свидетельства на программное обеспечение ЭВМ**

17. Кондрашова, Е.В. Программа расчёта транспортной составляющей себестоимости перевозок по лесовозным автомобильным дорогам / Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова, Ю.В. Лобанов, А.М. Волков // Свид-во об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2010610906. Заявка № 2009616821, зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 28.01.2010 г. (авторское участие – 1,05 п.л.).

18. Кондрашова, Е.В. Программа комплексного моделирования процесса функционирования системы «водитель-автомобиль-дорога-среда» / Е.В. Кондрашова, Ю.В. Лобанов, С.Н. Меркулов, А.Ю. Чувенков // Свид-во об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2010610775. Заявка № 2009616609, зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 22.01.2010 г. (авторское участие – 0,9 п.л.).

19. Лобанов, Ю.В. Программа расчёта оптимальной рейсовой нагрузки лесовозного автопоезда по нескольким критериям оптимальности / Ю.В. Лобанов, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова, М.А. Карпов // Свид-во об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2010610986. Заявка № 2009617033, зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 29 января 2010 г. (авторское участие – 1,3 п.л.).

Просим принять участие в работе диссертационного совета Д 212.034.02 или выслать Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу 394613, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8, Воронежская государственная лесотехническая академия, ученому секретарю.

тел. Факс. 8-4732-57-72-40, 8-4732-53-84-61, 8-4732-53-76-51

**Лобанов Юрий Владимирович**

#### **«МЕТОДЫ И МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ КАЧЕСТВАМИ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ»**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Подписано к печати 3.12.2010 г. Заказ № 1384.

Объем усл. п. л. 1. Тир. 100 экз.

Отпечатано в РА «Оптовик Черноземья», ул. Ленина, 73.