

**РГБ ОД**

**- 3 ЯНЯ 2000**  
*На правах рукописи*

**Платонов Алексей Александрович**



**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ  
ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ ПРИ ВЫВОЗКЕ ДРЕВЕСИНЫ  
В МАЛОЛЕСНЫХ РЕГИОНАХ**

*Специальность 05.21.01 - Технология и машины лесозаготовок  
и лесного хозяйства*

**АВТОРЕФЕРАТ**

*диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук*

**Воронеж - 2000**

Работа выполнена в Воронежской государственной лесотехнической академии.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор  
Свиридов Л.Т.

Научный консультант - доктор технических наук  
Волков В.С.

Официальные оппоненты :

- доктор технических наук, профессор, Заслуженный работник высшей школы РФ, лауреат государственной премии Республики Марий Эл Соколов Геннадий Максимович

- кандидат технических наук Саушкин Олег Викторович.

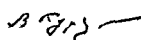
Ведущая организация - кафедра тракторов и автомобилей Воронежского государственного аграрного университета.

Защита диссертации состоится 24 ноября 2000 г. в 10<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 064.06.01 в Воронежской государственной лесотехнической академии по адресу : 394613, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8, ауд. 118.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Воронежской государственной лесотехнической академии.

Автореферат разослан 20 октября 2000 г.

Ученый секретарь совета  
д.т.н, профессор, Заслуженный  
работник высшей школы РФ

 В.К. Курьянов

17390.522,0

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время в Российской Федерации с развитием рыночной экономики становится все более актуальным снижение лесопромышленными предприятиями себестоимости своей продукции. Такое снижение должно осуществляться на всех этапах данного производства, включая и этап заготовки древесины. В условиях работы лесопромышленных предприятий решение указанной задачи тесно связано с повышением эффективности работы лесовозного автомобильного транспорта.

В малолесных регионах, с преобладающими рубками промежуточного пользования и рубками ухода, экономически оправдана сортиментная заготовка и вывозка древесины. При этом ее доставка зачастую производится автопоездами общего назначения, состоящими из седельного тягача и полуприцепа. Такие лесовозные автопоезда являются непригодными к вывозке сортиментов из - за не учета в обычных расчетных методиках целого комплекса факторов сложных лесотранспортных условий, а именно : односторонности грузового потока, сезонности работы, тяжелой дорожной и климатической обстановки. Данное обстоятельство приводит к недостаточно высокой эффективности работы лесовозных автопоездов. Учитывая это, представляется целесообразным повысить эффективность работы лесовозных автопоездов с помощью применения комплексного показателя их оптимизации.

Ухудшенные дорожные условия, в которых нередко эксплуатируется лесовозный подвижной состав, отрицательно сказываются и на его техническом состоянии, уменьшая ресурс деталей и узлов автопоезда. Несмотря на это, исследователями не уделяется должного внимания вопросу прогнозирования ресурса узлов лесовозного автопоезда в целом и полуприцепного состава в частности. Установлено, что по относительному распределению общего числа отказов на пробеге до первого капитального ремонта отказы балансирной подвески находятся на третьем месте после отказов двигателя и трансмиссии. Учитывая также, что балансирная подвеска полуприцепа является важным и ответственным узлом, влияющим на безопасность движения лесовозного автопоезда, представляется целесообразным проводить расчет эффективности работы данных автотранспортных средств с учетом прогнозных значений ресурса балансирной подвески полуприцепа. Это, в конечном итоге, позволит снизить себестоимость вывозки древесины, что в настоящее время является актуальной проблемой.

Цель исследования. Повысить эффективность работы лесовозных автопоездов в малолесных регионах с помощью применения комплексного показателя их оптимизации и с учетом прогнозируемого ресурса балансирной подвески полуприцепа.

Объект и метод исследования. Объектом исследования являлся лесовозный автопоезд КамАЗ - 5410 + КЗАП - 9370.

Для достижения поставленной цели использовались следующие основные методы исследования : анализ условий эксплуатации лесовозного автомобильного транспорта; методы математического моделирования процесса доставки древесины; экспериментальное определение параметров вывозки древесины в реальных производственных условиях.

Новизна исследований. Разработана методика по определению эффективности работы лесовозных автопоездов, учитывающая на основе комплексного показателя условия эксплуатации данных автопоездов, а также прогнозируемые значения ресурса их составных частей. Получены аналитические выражения для определения удельного расхода топлива двигателем лесовозного автомобиля - тягача, позволяющие повысить точность определения эффективности работы лесовозных автопоездов. Разработаны алгоритмы определения тягово - скоростных, топливно - экономических и ресурсных показателей работы лесовозных автопоездов на основе математического моделирования процесса вывозки древесины. Установлены закономерности влияния условий движения лесовозных автопоездов на пределы изменения конструктивных и эксплуатационных параметров вывозки древесины, а также на ресурс балансирной подвески лесовозного полуприцепа.

Практическая ценность. Выполненные исследования являются основой для дальнейшего совершенствования лесовозных автомобильных поездов, так как они позволяют оценить влияние условий их эксплуатации на конструктивные и эксплуатационные параметры вывозки древесины, а также на ресурс деталей и узлов данных автопоездов. Реализация разработанных рекомендаций позволит повысить эффективность работы лесовозных автопоездов и снизить себестоимость доставки древесины.

Научные положения, выносимые на защиту.

1. Методика определения эффективности работы лесовозных автопоездов, учитывающая на основе комплексного показателя условия эксплуатации данных автопоездов, а также прогнозируемые значения ресурса их составных частей.

2. Аналитические выражения для нахождения удельного расхода топлива двигателем лесовозного автомобиля - тягача.

3. Алгоритмы определения тягово - скоростных, топливно - экономических и ресурсных показателей работы лесовозных автопоездов на основе математического моделирования процесса вывозки древесины.

4. Закономерности влияния условий движения лесовозных автопоездов на пределы изменения конструктивных и эксплуатационных параметров вывозки древесины, а также на ресурс балансирной подвески лесовозного полуприцепа.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на Международной научно - практической конференции "Научно - технические проблемы в развитии ресурсосберегающих

технологий и оборудования лесного комплекса" ( Воронеж, 24 - 26 сентября 1998 года ); на Международной научно - практической конференции "Рациональное использование лесных ресурсов" ( Йошкар - Ола, апрель 1999 года ); на Всероссийской научно - практической конференции "Повышение технического уровня машин лесного комплекса" ( Воронеж, 3 - 5 июня 1999 года ); на ежегодных научно - технических конференциях молодых ученых ВГЛТА (1999, 2000 гг.).

Реализация работы. Рекомендации по повышению эффективности работы лесовозных автопоездов переданы ОАО "Автокомбинат" ( г. Воронеж ) и Тресвятскому лесничеству и использованы в производственных условиях при организации вывозки сортиментной древесины.

Публикации. Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 13 статьях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, общих выводов и рекомендаций, списка использованной литературы и приложений. Объем работы 204 страницы текста с 10 таблицами и 47 рисунками, список литературы ( 161 наименование, в том числе 8 на иностранных языках ) на 17 страницах, приложения на 31 странице.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Введение.** Во введении изложены актуальность темы диссертационной работы, цель работы, научная новизна и основные положения, которые выносятся на защиту.

**1. Состояние проблемы повышения эффективности работы лесовозных автопоездов.** В разделе проанализированы роль автомобильного транспорта в лесопромышленном производстве; анализ особенностей вывозки древесины в малолесных регионах; состояние и перспективы развития парка лесовозного автотранспорта; обзор существующих методов определения эффективности работы автопоездов и прогнозирования ресурса их узлов.

Вопросами теории и практики повышения эффективности работы лесовозных автопоездов в разное время занимались В.И. Алябьев, Г.Ф. Грехов, А.Д. Грязин, Б.А. Ильин, В.К. Курьянов, В.Н. Макеев, В.П. Немцов, Э.О. Салминен, М.Ю. Смирнов, Г.М. Соколов, Ю.А. Ширнин и другие ученые, содействовавшие развитию лесного комплекса Российской Федерации.

Анализ особенностей вывозки древесины в малолесных регионах выявил, что на территориях, где распространены рубки промежуточного пользования и рубки ухода, целесообразно производить вывозку древесины в сортиментах. При этом такая технология будет экономически оправдана при наличии достаточно широко развитой сети дорог общего пользования, что характерно для малолесных регионов в Европейской части России. Проведенным обзором состояния парка лесовозного автотранспорта установлено, что доставка сортиментов нередко осуществляется автомобильными поездами

общего назначения, мало приспособленными к такого рода перевозкам. Так, в малолесном Центрально - Черноземном регионе одним из наиболее распространенных типов лесовозных автотранспортных средств, используемых для вывозки сортиментов, является автопоезд КамАЗ - 5410 + КЗАП - 9370.

Обзор теоретических и экспериментальных исследований, посвященных проблеме повышения эффективности работы лесовозных автопоездов выявил, что в настоящее время не существует общепринятой математической зависимости для ее нахождения. При этом существующие зависимости имеют ряд недостатков и не в полной мере учитывают особенности процесса вывозки древесины. Данное обстоятельство обуславливает необходимость разработки нового комплексного показателя для определения эффективности работы лесовозных автопоездов.

Установлено, что нахождение эффективности работы данных автотранспортных средств необходимо проводить одновременно с расчетным прогнозированием ресурса их деталей и узлов. Целесообразность осуществления таких расчетов отмечается в работах В.С. Волкова, И.В. Демьянушко, Е.И. Зайцева, В.П. Когаева, Ю.Г. Котикова, В.С. Лукинского, А.С. Проникова и других ученых. Применительно к автопоезду КамАЗ - 5410 + КЗАП - 9370 обоснована необходимость расчета ресурса балансирной подвески полуприцепа КЗАП - 9370. При этом данные вычисления допустимо проводить с использованием имеющихся сведений о эксплуатационной наработке на отказ составляющих подвеску частей.

На основе проведенного анализа сформулированы задачи исследования :

1. Разработать аналитические выражения для определения эффективности работы лесовозных автопоездов и расчета ресурса балансирной подвески лесовозного полуприцепа, учитывающие условия эксплуатации автопоезда.

2. Разработать математические модели и алгоритмы для определения на основе компьютерного моделирования коэффициента эффективности работы лесовозного автопоезда и ресурса балансирной подвески полуприцепа.

3. Выявить степень влияния конструктивных и эксплуатационных параметров вывозки древесины на значения коэффициента эффективности работы лесовозного автопоезда.

4. Обосновать рекомендации по выбору рационального сочетания конструктивных и эксплуатационных параметров вывозки древесины применительно к конкретному типу лесовозного автопоезда.

**2. Теоретическое обоснование расчета оптимальных конструктивных параметров лесовозных автопоездов.** В разделе осуществлен выбор и обоснование комплексного показателя оптимизации лесовозных автопоездов, обоснованы методики определения скорости их движения, путевого расхода топлива тягачом и прогнозирования ресурса балансирной подвески лесовозного полуприцепа.

Совершенство лесовозных автотранспортных средств определяется степенью их приспособленности к доставке древесины с наивысшей производительностью и минимальными затратами. При этом в последние годы в связи с переходом экономики на рыночные условия, лесопромышленные предприятия стремятся получить максимальную прибыль от эксплуатации лесовозных автопоездов. В связи с этим становится все более актуальным при проектировании автомобильной техники для вывозки древесины не просто удовлетворять исходным данным, но и решать задачу оптимизации данных автотранспортных средств. Целью такой оптимизации является создание автопоезда, обладающего наилучшими показателями качества при возможности выбора из большого количества автопоездов, которые в принципе можно спроектировать. Одним из важнейших условий оптимизации лесовозных автопоездов является правильный выбор показателя оптимизации.

Проведенный обзор теоретических и экспериментальных исследований, посвященных проблеме повышения эффективности работы лесовозных автопоездов выявил следующее. В настоящее время большинством исследователей рекомендуется использовать комплексный показатель оптимизации автопоездов, включающий в себя все основные параметры вывозки груза : его массу, скорость движения автопоезда, расход топлива тягачом, время проведения погрузочно - разгрузочных операций. Подобный показатель был предложен в работах М.С. Высоцкого, Л.Х. Гилелеса, А.А. Журавлева, В.К. Курьянова, В.Ф. Платонова, Я.Е. Фаробина. По своей сути рекомендованная этими авторами зависимость отражает эффективность работы автопоезда.

Тем не менее, использованный в данных работах метод оптимизации конструктивных параметров автопоездов ( в том числе, лесовозных ) имеет некоторые недостатки. Так, в данных исследованиях используется показатель средней скорости движения. Однако, условия движения лесовозного автопоезда таковы, что за один рейс данное автотранспортное средство обычно осуществляет вывозку древесины по трассе с тремя типами дорожного покрытия. Данное обстоятельство обуславливает различные скорости движения автопоезда в зависимости от условий его эксплуатации. Применение в этом случае усредненных значений скоростей может привести к неточностям в определении оптимальных конструктивных параметров лесовозных автопоездов, что отразится на эффективности их работы. Также необходимо учесть, что участки трассы с различным качеством дорожного покрытия имеют неодинаковую протяженность. Вследствие этого в формуле коэффициента эффективности работы автопоезда не рационально использовать показатель скорости его движения. Более целесообразным представляется включить в данную зависимость показатель времени ездки лесовозного автотранспортного средства на каждом из исследуемых участков трассы доставки груза.

Расход топлива автомобилем - тягачом также целесообразно учитывать на каждом из участков трассы доставки древесины в зависимости от его протяженности, скорости движения автопоезда и его полной массы.

С учетом вышеизложенного коэффициент эффективности работы лесовозного автопоезда определится по зависимости :

$$W = \frac{m_{гр}}{(\sum T_E + t_{погр} + t_{разгр} + t_{разг}) Q_{S_{общ}}}, \text{ т / ч*л} \quad (2.1)$$

где  $m_{гр}$  - масса груза автопоезда ( нагрузка на рейс ), т;  $t_{погр}$  и  $t_{разгр}$  - соответственно время погрузки и разгрузки автопоезда, ч;

Суммарное время ездки автопоезда  $\sum T_E$  в грузовом и не грузовом направлениях найдется по формуле :

$$\sum T_E = t_M^{2P} + t_a^{2P} + t_y^{2P} + t_M^n + t_a^n + t_y^n, \text{ ч} \quad (2.2)$$

где  $t_M^{2P}$ ,  $t_a^{2P}$ ,  $t_y^{2P}$ ,  $t_M^n$ ,  $t_a^n$ ,  $t_y^n$  - время ездки соответственно по магистрали, ветке и усу в грузовом и не грузовом направлениях.

Расход топлива лесовозным автомобилем - тягачом  $Q_{S_i}$  на каждом расчетном участке  $i$  определится по формуле :

$$Q_{S_i} = \frac{L [Q_{S_i}]}{100}, \text{ л} \quad (2.3)$$

где  $L$  - длина участка трассы, км;  $[Q_{S_i}]$  - расчетное значение путевого расхода топлива автомобилем - тягачом ( путевой расход ), л / 100 км.

Тогда общий расход топлива при вывозке древесины найдется как :

$$Q_{S_{общ}} = \sum_{i=1}^n Q_{S_i}, \text{ л} \quad (2.4)$$

где  $n$  - общее количество участков.

Величину коэффициента эффективности работы лесовозного автопоезда  $W$  можно считать обобщенным показателем совершенства его конструкции. Данный показатель можно использовать для оценки эффективности работы автопоезда как в конкретных условиях эксплуатации, так и на стадии его проектирования. При этом целесообразно стремиться к обеспечению максимального значения коэффициента  $W$ , что позволит наиболее полно и эффективно использовать тягово - скоростные и топливно - экономичные свойства лесовозного автопоезда.

От методики определения скорости движения автопоезда и расхода топлива тягачом зависит правильность нахождения коэффициента  $W$ . Неточности в расчетах данных параметров лесовозных автопоездов в конечном итоге отражаются на значениях себестоимости вывозки древесины.

Проведенными литературным обзором и расчетами выявлено, что наиболее точным является графоаналитический метод определения скоростей



движения автопоездов ( метод динамической характеристики ), предложенный основоположником теории автомобиля Е.А. Чудаковым.

При нахождении общего и путевого расходов топлива автомобилем - тягачом наибольшую погрешность в расчеты вносит определение удельного расхода топлива  $g_e$  двигателем, то есть нахождение зависимости  $g_e = f(n)$ , где  $n$  - частота вращения коленчатого вала двигателя автомобиля - тягача. Трудность нахождения данной зависимости заключается в том, что как правило в технической характеристике двигателя указываются только максимальный  $g_{\max}$  и минимальный  $g_{\min}$  удельные расходы топлива, а также соответствующие им частоты  $n_{g_{\max}}$  и  $n_{g_{\min}}$ . Однако, в процессе вывозки древесины двигатель лесовозного автомобиля - тягача зачастую работает в интервале от  $n_{g_{\min}}$  до  $n_{g_{\max}}$ . Поэтому для наиболее точного нахождения путевого расхода топлива необходимо определить значения удельного расхода топлива в данном промежутке.

В настоящее время большинством исследователей для нахождения удельного расхода топлива предлагаются зависимости, предполагающие предварительное проведение испытаний двигателя тягача в реальных условиях, или формулы, предназначенные для конкретных марок двигателей. Однако, в случае установки на тягаче двигателя иной марки, или при невозможности реальных испытаний рассчитать удельный расход топлива будет невозможно. Учитывая вышеизложенное, для нахождения зависимости  $g_e = f(n)$  предлагается простой и более точный метод, позволяющий осуществлять расчеты с использованием ЭВМ. На основе аппроксимации данной зависимости функцией квадратного трехчлена получено следующее выражение для определения удельного расхода топлива :

$$g_e = g_{e \max} \left[ a_q + b_q \left( n/n_N \right) - c_q \left( n/n_N \right)^2 \right], \text{ г / ( кВт*ч )} \quad (2.5)$$

где  $g_{e \max}$  - удельный расход топлива при максимальной мощности двигателя, г / ( кВт\*ч ).

Коэффициенты  $a_q$ ,  $b_q$ ,  $c_q$  вычисляются по формулам :

$$a_q = 1 - \frac{\kappa_g \kappa_n (2 - \kappa_n)}{(\kappa_n - 1)^2}, \quad b_q = \frac{2 \kappa_g \kappa_n}{(\kappa_n - 1)^2}, \quad c_q = \kappa_g \left( \frac{\kappa_n}{\kappa_n - 1} \right)^2 \quad (2.6)$$

В этих формулах коэффициент увеличения расхода топлива :

$$\kappa_g = (g_{e \min} / g_{e \max}) - 1 \quad (2.7)$$

Коэффициент возрастания частоты вращения коленвала :

$$\kappa_n = n_{g_{\max}} / n_{g_{\min}} \quad (2.8)$$

Предложенная формула имеет ряд достоинств : простота и удобство исходной формулы и составляющих ее коэффициентов; использование для расчета удельного расхода топлива только данных технической характеристики

двигателя; возможность проведения расчета на ЭВМ и во всем диапазоне изменения частоты вращения коленчатого вала двигателя  $n$  для всех типов дизельных двигателей.

Как отмечалось в I разделе, при проведении оптимизации конструктивных параметров лесовозных автопоездов с целью повышения эффективности их работы необходимо определять прогнозируемые значения ресурса деталей и узлов данных автопоездов ( в частности, балансирной подвески полуприцепа КЗАП - 9370 ).

Ресурс балансирной подвески  $L_{подв}$  зависит от количества  $n_i$  деталей  $i$ -го типа в подвеске, а также от наработки на отказ  $L_{отк_i}$  ( тыс. км ) каждой  $i$ -й детали подвески. Ресурс определится по зависимости :

$$L_{подв} = \left( \sum_{i=1}^k n_i / L_{отк_i} \right)^{-1}, \text{ тыс. км} \quad (2.9)$$

В соответствии с исследованиями В.С. Волкова для расчета прогнозируемого ресурса  $L_{подв}$  используем величины наработок на отказ следующих составляющих балансирной подвески : полуэллиптических рессор, пальцев реактивной штанги, реактивных штанг, втулок балансира.

Возможность расчета прогнозируемых значений наработки полуэллиптических рессор подробно рассмотрена в трудах многих ученых, что объясняется важностью данной составляющей подвески. При этом другим ее деталям и узлам исследователи обычно не уделяют должного внимания, что обусловило отсутствие по ним достаточно четких математических зависимостей. В тоже время в исследованиях В.С. Лукинского, Е.И. Зайцева и других ученых указывается, что одним из методов прогнозирования ресурса изделия является использование накопленной информации об эксплуатации ранее выпущенных машин - аналогов. В соответствии с этими рекомендациями были использованы сведения о наработках втулок балансира, реактивных штанг и пальцев реактивных штанг группы подконтрольных полуприцепов КЗАП - 9370, эксплуатируемых в малолесном Центрально - Черноземном регионе.

Эксплуатационная наработка на отказ  $L_0$ , каждой из вышеперечисленных деталей определится по зависимости :

$$L_0 = n_0 \left( \sum_{j=1}^m (1/T_0^j) \right)^{-1}, \text{ тыс. км} \quad (2.10)$$

где  $T_0^j$  - эксплуатационная наработка на отказ одного полуприцепа, тыс. км;  $n_0$  - общее количество отказов.

Расчетная наработка на отказ каждой детали найдется как :

$$L_{отк_i} = L_0 (G' / G), \text{ тыс. км} \quad (2.11)$$

где  $G'$  - нагрузка на соответствующую деталь рассчитываемого варианта лесовозного автопоезда, Н;  $G$  - нагрузка на соответствующую деталь базового варианта лесовозного автопоезда, Н.

Таким образом, используя формулы ( 2.1 ) - ( 2.11 ) можно определить эффективность работы лесовозного автопоезда с учетом величины ресурса балансирующей подвески полуприцепа. На основе данных зависимостей были разработаны математические модели и алгоритмы, позволяющие реализовывать данные расчеты на ЭВМ для существующих и проектируемых типов лесовозных автопоездов.

**3. Программа и методика экспериментальных исследований.** В разделе изложены программа и методика проведения экспериментальных исследований, обоснование и выбор типов измерительной аппаратуры.

Программой исследования, для проверки соответствия математической модели реальному процессу вывозки древесины, было предусмотрено нахождение тягово - скоростных и топливно - экономичных свойств лесовозного автопоезда КамАЗ - 5410 + КЗАП - 9370 в производственных условиях. При этом целью данных исследований было нахождение следующих зависимостей : коэффициента эффективности автопоезда от его полной массы, времени движения и расхода топлива автомобилем - тягачом; расхода топлива тягачом от полной массы автопоезда и времени движения; времени движения автопоезда от его полной массы.

Экспериментальные исследования проводили в соответствии с ГОСТ 22576 - 90. Испытания на максимальную скорость движения автопоезда осуществлялись по заранее измеренному участку дороги с твердым и ровным покрытием ( протяженностью в 1 км ) на высшей передаче при полной подаче топлива. Автопоезду предварительно сообщался достаточный разгон для достижения им к моменту въезда на мерный участок установившейся ( максимальной ) скорости. Время прохождения автопоездом мерного участка измеряли секундомером. При этом исследователь находился в кабине автотранспортного средства. Включение и выключение секундомера производили в момент прохождения автопоездом начала и конца мерного участка.

Одновременно с испытаниями на скоростные свойства автопоезда проводили исследования на топливную экономичность автомобиля - тягача. Данные исследования осуществляли при помощи объемно - тахометрического расходомера с овальными шестернями. Расходомеры такого типа отличаются большой точностью регистрации суммарного количества жидкости с погрешностью счета измерительных порций  $\pm 0.5$  %. Для осуществления возможности замеров расхода топлива в обратной топливной магистрали двигателя был изготовлен тройник, который соединил топливопроводы от форсунок двигателя и ТНВД.

Статистическая обработка результатов экспериментальных исследований проводили на ЭВМ с использованием программы STATGRAPHICS. Для

каждого замеренного фактора ( массы груза, времени ездки автопоезда, расхода топлива тягачом, а также для коэффициента эффективности работы лесовозного автопоезда ) было произведено вычисление основных статистических характеристик. Проверка гипотезы нормальности распределения наблюдаемых частот по критерию согласия Колмогорова - Смирнова и по  $\chi^2$  - критерию выявила, что данная гипотеза принимается с 95 % достоверностью. Для определения статистической связи между исследуемыми величинами проведен корреляционный анализ результатов эксперимента. Полученные коэффициенты корреляции продемонстрировали хорошую линейную связь между входными и выходными параметрами (  $r = 0.62...0.89$  ). Значимость полученных коэффициентов уравнений регрессии проверяли по  $t$  - критерию Стьюдента. В большинстве своем полученные коэффициенты регрессии являются статистически значимыми. Адекватность уравнений регрессии проверяли по  $F$  - критерию Фишера. Полученные уравнения регрессии являются статистически значимыми при 95 % - ной доверительной вероятности.

**4. Результаты экспериментальных исследований и оптимизационных расчетов.** В разделе изложены результаты экспериментальных исследований лесовозного автопоезда КамАЗ - 5410 + КЗАП - 9370, результаты вычислений оптимальных конструктивных параметров данного автопоезда, а также прогнозируемых значений ресурса балансирной подвески лесовозного полуприцепа КЗАП - 9370.

Результаты экспериментальных исследований подтвердили работоспособность математической модели по определению эффективности работы лесовозных автопоездов. При этом отклонение теоретических данных от экспериментальных не превышает 15 % и в среднем составляет величину 7...10 %. На такое расхождение повлияли тип и состояние дорожного покрытия, величина давления воздуха в шинах лесовозного автопоезда, размеры колес, ветровые сопротивления движению. Тип и состояние дорожного покрытия во многом оценивается коэффициентом сопротивления качению колес автопоезда  $f_a$ , изменение которого от минимального до максимального значения приводит к заметной трансформации результатов расчета. Учитывая данный факт, при проведении вычислений оптимальных конструктивных параметров лесовозных автопоездов к расчету принимался весь возможный интервал вариации коэффициента  $f_a$  для каждого типа дорожного покрытия. В качестве наиболее характерных типов дорожного покрытия, по которым осуществляется вывозка древесины были приняты асфальтобетонное (  $f_a = 0.018...0.024$  ), гравийное (  $f_a = 0.038...0.044$  ) и грунтовое (  $f_a = 0.048...0.054$  ).

В процессе проведения оптимизационных расчетов лесовозного автопоезда КамАЗ - 5410 + КЗАП - 9370 были найдены следующие параметры его работы : коэффициент эффективности  $W$  ( т / ч\*л ), общее время ездки автопоезда за рейс  $t_{общ}$  ( ч ), общий расход топлива за рейс  $Q_{S_{общ}}$  ( л ), путевой

расход топлива автомобилем - тягачом  $Q_S$  ( л / 100 км ), скорость движения автопоезда  $v_{an}$  ( км / ч ). При этом рассматривалось влияние на данные параметры следующих факторов : полной массы автопоезда  $G_{an}$ , протяженности участков трассы доставки древесины ( магистрали  $L_M$ , ветки  $L_B$  и уса  $L_Y$  ), типа и состояния дорожного покрытия на данных участках ( с помощью коэффициента сопротивления качению  $f_a$  ), уклона участков ( через величину среднего уклона  $i_{cp}$  ). Полная масса лесовозного автопоезда  $G_{an}$  изменялась в диапазоне 19.5...32.5 т ( 75...125 % от номинальной массы ).

На рис. 4.1 и 4.2 представлены соответственно рассчитанные зависимости скорости движения автопоезда и путевого расхода топлива тягачом от полной массы лесовозного автопоезда на асфальтовом покрытии.

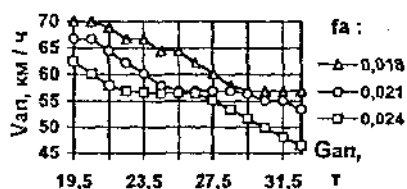


Рис. 4.1 Зависимость скорости движения от полной массы при различных  $f_a$

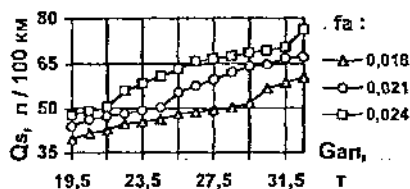


Рис. 4.2 Зависимость путевого расхода топлива от полной массы при различных  $f_a$

Рассмотрение данных зависимостей показывает, что с увеличением полной массы и с ухудшением качества дорожного покрытия происходит снижение максимально возможных скоростей движения груженого лесовозного автопоезда и повышение значений путевого расхода топлива. При этом для анализируемого автотранспортного средства характерно ступенчатое изменение скорости движения, что связано с особенностями конструкции коробки передач. С ухудшением качества дорожного покрытия темпы снижения скорости  $v_{an}$  возрастают. Путевой расход топлива во многом определяется скоростью движения автопоезда, что приводит к возрастанию темпов увеличения расхода  $Q_S$  с ухудшением качества трассы.

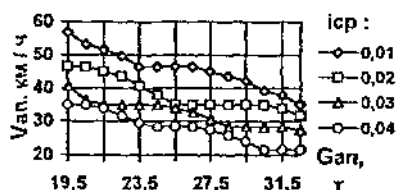


Рис. 4.3 Зависимость скорости движения от полной массы при различных  $i_{cp}$

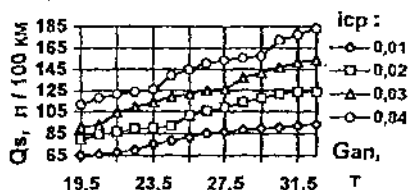


Рис. 4.4 Зависимость путевого расхода топлива от полной массы при различных  $i_{cp}$

При одинаковом качестве дорожного покрытия, но повышающихся значениях уклона трассы  $i_{cp}$  с возрастанием полной массы автопоезда темпы снижения скорости движения уменьшаются (рис. 4.3). В тоже время темпы возрастания путевого расхода топлива увеличиваются (рис. 4.4). Кроме того, анализ характера поведения зависимости на рис. 4.3 показывает, что при среднем уклоне трассы  $i_{cp} = 0.03$  величины максимально возможных скоростей движения лесовозных автопоездов с полной массой  $G_{an} > 27.5$  т принимают значения  $v_{an} < 30$  км / ч, что ниже требуемой величины скорости автопоездов на подъемах.

Рассмотрев влияние различных составляющих коэффициента  $W$  на его значение можно сделать следующий вывод. В исследуемом интервале изменения полной массы автопоезда с повышением значений  $G_{an}$  коэффициент эффективности  $W$  увеличивается. Одновременное возрастание при этом коэффициента сопротивления качению  $f_a$  снижает общие значения коэффициента  $W$ . Увеличение протяженности трассы доставки груза также приводит к снижению данного коэффициента, что связано с повышением общего времени ездки  $t_{общ}$ . Для автопоезда КамАЗ - 5410 + КЗАП - 9370 при номинальной полной массе 25600 кг наибольшая эффективность его работы находится в интервале  $W = (174...231) \cdot 10^{-4}$  т / ч\*л. При этом для достижения такой эффективности работы автопоезд должен осуществлять вывозку сортиментной древесины со следующими скоростями движения: на асфальтовом покрытии 56.9...64.5 км / ч, на гравийном покрытии 34.8...42.2 км / ч, на грунтовом покрытии 32.7...34.8 км / ч. Однако, в реальных производственных условиях автопоезд движется со скоростями, отличными от оптимальных. Если движение лесовозного автопоезда по магистрали происходит со скоростью 70...40 км / ч, по ветке 30...20 км / ч, а по усу 15...10 км / ч, то эффективность работы данного автотранспортного средства снижается на 21...42 %.

Расчеты коэффициента эффективности  $W$  во всем возможном диапазоне изменения полной массы лесовозного автопоезда от 11.5 т до 52 т показали (рис. 4.5), что для данной конструкции автопоезда существует две области наибольших значений эффективности его работы.

Так, максимальная эффективность работы лесовозного автопоезда наблюдается при значениях полной массы  $G_{an} = 29.5...31.5$  т (массы груза  $m_{gp} = 18.1...20.1$  т). При этом расчетное значение коэффициента  $W$  находится в диапазоне  $W = (195...254) \cdot 10^{-4}$  т / ч\*л. Дальнейшее увеличение полной массы приводит к незначительному снижению зависимости  $W = f(G_{an})$ , а затем к ее возрастанию. При величинах полной массы  $G_{an} = 38.5...41.5$  т (массы груза  $m_{gp} = 27.1...30.1$  т) прослеживается еще один максимум данной

зависимости. При этом величина коэффициента эффективности находится в интервале  $W = (220...288) \cdot 10^{-4} \text{ т / ч*л}$ .

Коэффициент эффективности  $W$ , т / ч\*л

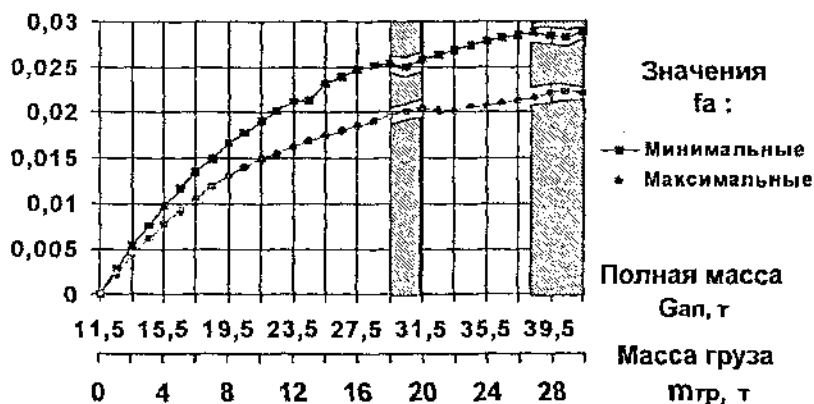


Рис. 4.5 Зависимость коэффициента эффективности работы лесовозного автопоезда от его полной массы ( массы груза ).

Таким образом, расчеты продемонстрировали следующее. Для рассмотренной конструкции лесовозного автопоезда КамАЗ - 9370 + КЗАП - 9370 ближайшая область оптимальных значений его полной массы составляет величину  $G_{\text{опт}} = 29.5...31.5 \text{ т}$  ( 295...315 кН ). Данные значения отличаются от принятой в настоящее время массы  $G_{\text{опт}} = 25.6 \text{ т}$  на 13...18 %.

Для выяснения вопроса о возможности повышения полной массы автопоезда ( массы груза ) и приближения ее к оптимальным значениям был осуществлен расчет прогнозируемых значений ресурса балансирной подвески лесовозного полуприцепа.

В соответствии с изложенной в разделе 2 методикой определения ресурса балансирной подвески лесовозного полуприцепа были получены зависимости наработок на отказ ее деталей от массы груза. При этом расчеты проводились для следующих исследуемых деталей подвески : реактивных штанг, пальцев реактивных штанг, полуэллиптических рессор и втулок балансира. Результаты расчета показали, что с повышением массы груза наработка на отказ деталей подвески снижается.

Так, наибольшие значения наработки на отказ имеет реактивная штанга ( рис. 4.6 ), наименьшие - втулка балансира ( рис. 4.7 ). Зависимость наработки на отказ от массы груза полуэллиптических рессор имеет ломаный характер поведения ( рис. 4.8 ). В середине интервала изменения массы груза  $m_{\text{гр}}$  наблюдается некоторое замедление темпов снижения данной зависимости. (При значениях массы груза 12...15 т величина наработки снижается лишь на

20 тыс. км ( то есть повышение массы на 1 т приводит к уменьшению наработки на 6.7 тыс. км ). В тоже время во всем интервале изменения массы груза ее увеличение на 1 т приводит к снижению наработки в среднем на 13 тыс. км. Изменение темпов снижения данной зависимости объясняется повышенным влиянием на величину наработки рессор на откат значений скорости движения лесовозного автопоезда.

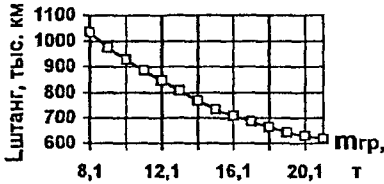


Рис. 4.6 Нарботка на отказ реактивных штанг

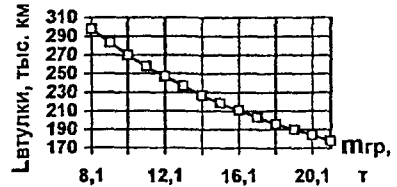


Рис. 4.7 Нарботка на отказ втулок балансира

По найденным значениям наработок на отказ деталей подвески были определены прогнозные значения ресурса всей балансирной подвески  $L_{подв}$  ( рис. 4.9 ). Расчеты показали, что во всем интервале изменения массы груза увеличение ее значений приводит к снижению ресурса подвески. Повышение массы на 1 т уменьшает значения ресурса подвески в среднем на 8...10 тыс. км. Для номинальной полной массы автопоезда 25.6 т ( масса груза 14.2 т ) ресурс составляет величину 203 тыс. км. При этом увеличение массы до ближайшего оптимального ее значения в 18.1 т приводит к снижению ресурса подвески на 27 тыс. км ( до значения 176 тыс. км ), то есть на 13 %.

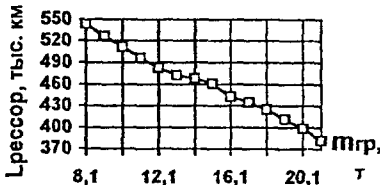


Рис. 4.8 Нарботка на отказ полуэллиптических рессор.

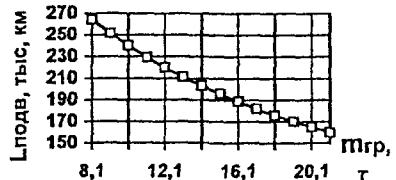


Рис. 4.9 Ресурс балансирной подвески

Расчет запаса прочности  $n$  деталей, имеющих наименьшие величины наработок на отказ свидетельствует о том, что по двум деталям ( пальцам реактивных штанг и полуэллиптическим рессорам ) обеспечивается необходимый запас прочности. В тоже время, по запасу прочности для втулок балансира лесовозного полуприцепа масса груза может быть не более 28.5 т.

Таким образом, при определении прогнозируемых показателей ресурса балансирной подвески лесовозного полуприцепа обнаружилось следующее. Во всем интервале изменения массы груза увеличение ее значений на 1 т приводит к снижению ресурса подвески в среднем на 8...10 тыс. км. Повыше-



ние полной массы лесовозного автопоезда с номинального значения в 25.5 т до величины 29.5 т снизит ресурс балансирующей подвески лесовозного полуприцепа на 13 %. Однако, такое изменение отрицательным образом отразится на запасе прочности втулки балансира подвески. Кроме того, увеличение полной массы автопоезда ( массы груза ) на 4 т может негативно повлиять на запас прочности и ресурс других деталей и узлов как полуприцепа, так и всего автопоезда. В силу своей обширности этот вопрос в данной работе не рассматривался. Учитывая также, что для автопоездов с полной массой  $G_{ан} > 27.5$  т максимально возможные скорости движения на подъемах с уклоном более 3 % принимают значения  $v_{ан} < 30$  км / ч, что ниже требуемой ее величины, можно на основе данных расчетов рекомендовать повысить полную массу автопоезда КамАЗ - 5410 + КЗАП - 9370 до значения 27500 кг (275 кН) при массе груза 16100 кг ( 161 кН ). При этом будет обеспечен необходимый запас прочности деталей подвески лесовозного полуприцепа. Ресурс балансирующей подвески снизится на 13 тыс. км, что на среднем общем пробеге полуприцепа КЗАП - 9370 в 450 тыс. км составит незначительную величину в 6 %. Однако, при этом эффективность работы лесовозного автопоезда возрастет на  $(10...15) \cdot 10^{-4}$  т / ч\*л до значения  $W = (183...245) \cdot 10^{-4}$  т / ч\*л.

5. Экономическая оценка результатов исследования. В данном разделе приведена технико - экономическая оценка сравниваемых вариантов лесовозных автопоездов КамАЗ - 5410 + КЗАП - 9370 с номинальной полной массой 25.6 т и с предлагаемой 27.5 т. Оценка экономической эффективности работы данных автопоездов на вывозке сортиментной древесины ( дуба, сосны, осины, березы ) проводилась по стандартной методике. Результаты показали, что повышение массы груза на 2 т снижает удельные приведенные затраты на вывозку древесины в среднем на 3.55 руб. / м<sup>3</sup>.

### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.

1. Установлено, что подвижной состав общего назначения, используемый в малолесных регионах на вывозке сортиментной древесины, обладает недостаточно высокой эффективностью работы из - за неучета в обычных расчетных методиках сложных лесотранспортных условий.

2. Обоснована необходимость нахождения эффективности работы лесовозных автопоездов с использованием комплексного показателя, учитывающего условия эксплуатации данных автопоездов, а также прогнозируемых значений ресурса их деталей и узлов.

3. Получены аналитические выражения для определения эффективности работы лесовозных автопоездов и расчета ресурса балансирующей подвески лесовозных полуприцепов, учитывающие условия эксплуатации автопоездов.

4. Разработанные математические модели и алгоритмы позволяют на основе компьютерного моделирования процесса вывозки древесины определять

эффективность работы существующих и проектируемых типов лесовозных автопоездов, а также ресурс балансирующей подвески полуприцепов.

5. Установлено, что наибольшая эффективность работы лесовозного автопоезда КамАЗ - 5410 + КЗАП - 9370 с номинальной полной массой 25600 кг находится в интервале  $(174...231) \cdot 10^{-4}$  т / ч\*л. Анализ закономерностей влияния условий движения лесовозных автопоездов на пределы изменения конструктивных и эксплуатационных параметров вывозки древесины показал, что для достижения такой эффективности автопоезд должен осуществлять вывозку древесины со следующими скоростями движения : на асфальтовом покрытии 56.9...64.5 км / ч; на гравийном покрытии 34.8... 42.2 км / ч; на грунтовом покрытии 32.7...34.8 км / ч. При несоблюдении указанных параметров эффективность работы данного лесовозного автопоезда на вывозке сортиментов снижается на 21...42 %.

6. Расчет эффективности работы лесовозного автопоезда КамАЗ - 5410 + КЗАП - 9370 в диапазоне изменения полной массы от 11.5 т до 52 т показал, что ближайшая область максимальной эффективности его работы наблюдается при значениях полной массы в 29.5...31.5 т ( масса груза 18.1...20.1 т ), что отличается от принятой в настоящее время номинальной величины на 13...18 %. При этом расчетное значение эффективности находится в диапазоне  $(195...254) \cdot 10^{-4}$  т / ч\*л.

7. Определение прогнозируемых значений ресурса балансирующей подвески лесовозного полуприцепа КЗАП - 9370 и запаса прочности ее деталей выявило, что увеличение массы груза на 1 т приводит к снижению значений прогнозируемого ресурса подвески в среднем на 8...10 тыс. км. Расчеты показали, что конструкция балансирующей подвески обеспечивает возможность повышения полной массы автопоезда КамАЗ - 5410 + КЗАП - 9370 на 2000 кг до значения 27500 кг при массе перевозимого груза 16100 кг. При этом ресурс подвески снизится на 6 % до значения 187 тыс. км.

8. Расчет экономической эффективности работы лесовозного автопоезда КамАЗ - 5410 + КЗАП - 9370 при вывозке сортиментной древесины ( дуба, сосны, осины, березы ) в условиях малолесного Центрально - Черноземного региона выявил, что повышение полной массы данного автопоезда на 2 т снизит удельные затраты на доставку древесины в среднем на 3.55 руб. / м<sup>3</sup>.

#### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ :

1. Платонов А.А. Вопросы совершенствования конструкции лесовозных автопоездов в теоретических и экспериментальных исследованиях // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления лесного комплекса : Сб. науч. тр.; Под ред. проф. В.С. Петровского - Воронеж : Воронеж. гос. лесотехн. акад., 1998. - С. 280 - 281.

. Платонов А.А. К разработке математической модели оптимизации параметров автопоездов // Научно-технические проблемы в развитии ресурсосберегающих технологий и оборудования лесного комплекса : Материалы ежегодн. науч. - практ. конф. - Воронеж : Воронеж. гос. лесотехн. акад., 1998. - С. 118 - 119.

Свиридов Л.Т., Платонов А.А. Состояние и пути повышения эффективности использования лесовозного транспорта / Воронеж. гос. лесотехн. акад. - Воронеж, 1999. - 29 с.: 4 ил. Библиог. 23 назв. Рус. Деп. в ВИНИТИ 15.02.99, № 479 - В99.

. Платонов А.А. К теоретическим и экспериментальным исследованиям по определению оптимальных параметров автомобилей // Теория, постановка и результаты агроинженерного эксперимента : Сб. науч. тр. - Воронеж : ВГАУ, 1999. - С. 89 - 94.

. Платонов А.А. К предварительному обоснованию оптимальных конструктивных параметров лесовозных автопоездов // Рациональное использование лесных ресурсов : Материалы междунар. науч. - практ. конф., посвященной 80-летию со дня рождения Дмитриева Юрия Яковлевича / Отв. ред. А.А. Ширин. - Йошкар-Ола : МарГТУ, 1999. - С. 149 - 150.

Платонов А.А. Алгоритм оптимизации конструктивных параметров лесовозных автопоездов // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления лесного комплекса : Межвузов. сб. науч. тр.; Под ред. проф. В.С. Петровского / Воронеж : Воронеж. гос. лесотехн. акад., 1999. - С. 166 - 170.

. Платонов А.А. К предварительной оценке методов определения скорости движения лесовозных автопоездов // Повышение технического уровня шин лесного комплекса : Материалы Всерос. науч. - практ. конф. ( Воронеж, 3 - 5 июня 1999 г. ). - Воронеж : Воронеж. гос. лесотехн. акад., 1999. - С. 63 - 66.

Свиридов Л.Т., Смирнова Е.А., Платонов А.А. Определение удельного расхода топлива методом интерполяции // Природопользование : ресурсы, техническое обеспечение : Межвузовск. сб. науч. тр.; Отв. ред. Ф.В. Поляриков. - Воронеж : Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2000. - С. 127 - 129.

Свиридов Л.Т., Платонов А.А. К результатам экспериментальных исследований по определению оптимальных конструктивных параметров лесовозных автопоездов / Воронеж. гос. лесотехн. акад. - Воронеж, 2000. - 13 с.: ил. Библиог. 4 назв. Рус. Деп. в ВИНИТИ 15.03.00, № 654 - В00.

. Свиридов Л.Т., Платонов А.А. Определение удельного расхода топлива лесовозными автомобилями методом аппроксимации функции квадратного члена / Воронеж. гос. лесотехн. акад. - Воронеж, 2000. - 6 с.: 1 ил. Библиог. 6 назв. Рус. Деп. в ВИНИТИ 15.03.00, № 653 - В00.

11. Свиридов Л.Т., Платонов А.А. Комплексный метод оценки эффективности работы лесовозных автопоездов / Воронеж. гос. лесотехн. акад. - Воронеж, 2000. - 15 с. Библиог. 22 назв. Рус. Деп. в ВИНТИ 12.04.00 № 985 - В00.

12. Платонов А.А. Определение прогнозируемого ресурса балансирующей подвески лесовозного автопоезда // Лес и молодежь ВГЛТА - 2000 г. Сборник научных трудов юбилейной конференции молодых ученых, по священной 70 - летию образования ВГЛТА ; Под ред. акад. РАЕН Л.Т. Свиридова. - Воронеж : Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2000. - Т.2 С. 65 - 68.

13. Свиридов Л.Т., Платонов А.А. Состояние проблемы и пути повышения эффективности работы лесовозных автопоездов / Воронеж. гос. лесотехн. акад. - Воронеж, 2000. - 211 с.: Библиог. 173 назв. Рус. Деп. в ВИНТИ Принято к публикации.

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах с подписями, заверенным гербовой печатью, просим присылать по адресу : 394613, г. Воронеж, ул. Т. Мирязева, 8, ВГЛТА, ученому секретарю. Телефон 53-72-40. Факс (0732) 53-84-61.

Платонов Алексей Александрович

Повышение эффективности работы лесовозных автопоездов  
при вывозке древесины в малолесных регионах

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

ЛР 020596 от 09.07.1997 г. Подписано в печать 13.10.2000 г.

Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Усл.печ.л. 1,0. Тираж 100 экз.

Воронежская государственная лесотехническая академия.

394613 Воронеж, ул. Тимирязева, 8.

Бумага для множительных аппаратов. Заказ 45.

Отпечатано: Участок оперативной полиграфии РНКЦ «Ренакорд».