

На правах рукописи



МУРЗИНОВ Юрий Валерьевич

**МЕТОД И МОДЕЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО  
УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ  
ВЫРАЩИВАНИЯ ХВОЙНЫХ НАСАЖДЕНИЙ В  
ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ**

Специальность: 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Воронеж – 2013



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность.**

Одним из достояний нашей страны являются большие запасы леса. Однако в последние годы намечена тенденция уменьшения лесов. Площадь лесов в нашей стране уменьшается из-за пожаров и неэффективного ведения хозяйственных работ в лесопромышленном комплексе. В Российской Федерации регулярно решаются задачи непрерывного и рационального лесопользования, улучшения качественного состава лесов и повышения выхода деловой древесины. В лесопромышленном комплексе решение этих задач может быть осуществлено при правильном, обоснованном лесопользовании, основной составляющей которого являются рубки ухода.

Рубки ухода за лесом были и остаются самым трудоёмким, сложным и потому проблематичным лесопромышленным процессом. Уход за лесом является распределённым во времени технологическим процессом на протяжении всего периода лесовыращивания и на каждом возрастном этапе имеет свои особенности, которые заключаются, прежде всего, в отсутствии оптимального управления технологическим процессом выращивания насаждений. Для эффективного планирования и контроля проведения рубок ухода за лесом необходимо иметь достаточно точные математические модели, наиболее полно описывающие технологические процессы выращивания хвойных насаждений.

В целом, **актуальность** темы настоящей диссертационной работы заключается в решении комплекса вопросов по созданию метода автоматизированного управления технологическим процессом выращивания одновозрастных хвойных насаждений на основе моделирования динамики хода роста насаждений, построения алгоритмов расчёта оптимальных режимов выращивания, выбора системы лесозаготовительных машин и разработки программного обеспечения для реализации поиска решения с помощью вычислительной техники.

В области управления процессом лесовыращивания ведутся интенсивные исследования, которые базируются на трудах выдающихся учёных, в числе которых С. Н. Сеннов, М. М. Орлов, М. Е. Ткаченко, И. С. Мелехов, Н. П. Анучин, А.З. Швиденко, В.С. Петровский и др.

**Объектом исследования** в диссертационной работе являются метод и модели системы управления технологическим процессом выращивания одновозрастных хвойных насаждений.

**Целью диссертационной работы** является разработка метода автоматизированного управления технологическим процессом выращивания одновозрастных хвойных насаждений, посредством моделирования динамики хода роста

лесонасаждения, с учётом реакции на воздействие в виде рубок ухода.

В соответствии с целью работы были сформулированы и решались следующие **задачи**:

1 – Анализ существующих и перспективных методов автоматизированного управления технологическими процессами выращивания одновозрастных хвойных насаждений.

2 – Разработка моделей технологического процесса выращивания одновозрастных хвойных насаждений как объекта управления.

3 – Разработка методов сбора информационных показателей входных и выходных параметров для автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) выращивания одновозрастных хвойных насаждений.

4 – Разработка алгоритмов для реализации метода управления технологическим процессом выращивания одновозрастных хвойных насаждений.

5 – Разработка автоматизированной системы технической подготовки производства (АСТПП) по выбору системы лесозаготовительных машин для проведения рубок ухода.

**Методы исследований** построены на сочетании экспериментальных и теоретических подходов. В работе применялись: математическое и имитационное моделирование; методы теории управления; оригинальные методы исследования хвойных насаждений, как объекта управления, с использованием современных измерительных средств и электронно-вычислительной техники. Полученные результаты обрабатывались по типовым программам с использованием методов теории вероятностей и математической статистики.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

1. Разработаны модели реакции одновозрастных хвойных насаждений, как объекта управления, на воздействия в виде рубок ухода, связывающие информационные показатели технологического процесса выращивания с годовым приростом объёма древесины.

2. Разработана методика сбора информационных показателей объекта управления (одновозрастные хвойные насаждения) на основе изобретений, подтверждённых патентами №2412587 RU «Способ измерения местоположения и таксационных характеристик учетных деревьев» и №2363149 RU «Электронная лесная мерная вилка».

3. Построены алгоритмы, обеспечивающие нахождение оптимальных режимов управления технологическим процессом выращивания одновозрастных хвойных насаждений и разработана компьютерная программа, подтвер-

ждённая свидетельством о государственной регистрации №2010610420.

4. Разработано программное обеспечение АСТПП по выбору оптимальной системы лесозаготовительных машин для осуществления рубок ухода, как управляющего воздействия на объект управления, подтверждённое свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012612050.

**Практическая полезность** диссертационной работы заключается в том, что в ходе её выполнения разработан метод автоматизированного управления технологическим процессом выращивания одновозрастных хвойных насаждений, методика сбора информационных показателей объекта управления и АСТПП по выбору оптимальной системы лесозаготовительных машин для получения максимального выхода стволовой древесины с 1 га в год.

Научные положения диссертации используются в учебном процессе (лекции, дипломное проектирование) ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия» (ВГЛТА), в учебно-опытном лесхозе ВГЛТА и в ФГУП «РОСЛЕСИНФОРГ» «ВОРОНЕЖЛЕСПРОЕКТ».

**Достоверность полученных результатов** доказана на основании подтверждения сходимости теоретических положений с результатами проведённых экспериментов в лесных хозяйствах.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации обсуждались на следующих конференциях:

– Международная научно-техническая конференция «Современные технологические процессы получения материалов и изделий из древесины», посвящённая 50-летию факультета технологии деревообработки ГОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия» (Воронеж, 17-21 мая 2010 г.);

– Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы лесного комплекса» (Брянск, 20-21 октября 2010 г.);

– VIII международная научно-техническая конференция «Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации» (Курск, 28 декабря 2010г.);

– Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы лесного комплекса» (Брянск, 18-20 октября 2011 г.).

**Реализация результатов диссертационной работы** подтверждена актами производственных испытаний программного обеспечения метода автоматизированного управления технологическим процессом выращивания одновозрастных хвойных насаждений.

Разработки диссертационной работы были использованы в деятельности

филиала ФГУП «РОСЛЕСИНФОРГ» «ВОРОНЕЖЛЕСПРОЕКТ» по лесоустройству, лесному планированию и проектированию. Были применены компьютерные программы, подтвержденные свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ №2010610420 «Расчет режимов оптимального ускоренного выращивания сосновых древостоев» и №2012612050 «Автоматизированная система технологической поддержки производства по выбору оптимальной системы лесозаготовительных машин для проведения рубок ухода за лесом». Использование этого программного обеспечения в подготовке рекомендаций для лесопользователей для проведения ухода за лесом, позволило максимизировать объем заготавливаемого круглого леса; снизить возраст технической спелости сосновых древостоев на 5...10 лет; повысить выход стволовой древесины с 1 га лесфонда за 1 год лесовыращивания на 3,1 м<sup>3</sup>/га в зависимости от бонитета; получить экономический эффект за счет снижения повреждаемости деревьев.

Кроме того, в деятельности этого предприятия по разработке проектов освоения лесов был применен метод автоматизированного сбора таксационных показателей лесонасаждений, подтвержденный патентом RU 2412587 «Способ измерения местоположения и таксационных характеристик учетных деревьев», авторов Ю.В. Мурзинова и В.С. Петровского. Использование этого метода позволило провести с меньшими затратами разработку проектов освоения лесов.

**Научные положения диссертационной работы, выносимые на защиту:**

1. Анализ существующих подходов к описанию хода роста одновозрастных хвойных насаждений выявил отсутствие адекватных моделей их роста и реакций на рубки ухода и наметил пути создания АСУ ТП выращивания одновозрастных хвойных насаждений.

2. Метод оперативного сбора информационных показателей хвойного насаждения, как объекта управления, основан на фиксации на электронном носителе фотоизображения хвойного насаждения и дальнейшей компьютерной обработке этого изображения.

3. Модели управления технологическим процессом выращивания одновозрастных хвойных насаждений и имитационные модели управляющего воздействия в виде рубок ухода позволили получить оптимальные режимы выращивания с увеличением объема выхода древесины и сокращения сроков получения технической спелой древесины.

4. АСТПП по выбору оптимальной системы лесозаготовительных машин, на основе разработанной компьютерной программы, позволила миними-

зировать повреждаемость деревьев при проведении рубок ухода.

**Личный вклад автора.** Все результаты, составляющие содержание диссертационной работы, получены автором самостоятельно. Некоторые опубликованные работы, относящиеся ко 2 главе диссертационной работы, написаны в соавторстве с д.т.н., проф. В.С. Петровским, которым было предложено использование двухпараметрической модели роста лесонасаждений.

**Публикации.** Основные результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 18 печатных работах, в том числе 5 статей в рецензируемых журналах списка ВАК, 2 патента, 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, апробированы на 5 научных международных конференциях и издана одна монография.

**Структура и объём работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы и приложений. Основной материал, включая 55 рисунков и 18 таблиц, изложен на 134 страницах, объём приложений – на 92 страницах.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность разработки метода автоматизированного управления технологическим процессом выращивания одновозрастных хвойных насаждений, определена цель исследования, изложены основные положения, выносимые на защиту, показана научная и практическая ценность работы.

**Первый раздел** содержит анализ существующих и перспективных методов автоматизированного управления организационно-технологическими процессами выращивания одновозрастных хвойных насаждений. С позиции управления основным воздействием на хвойное насаждение, как объект управления, являются рубки ухода.

Актуальным вопросом является выбор параметров рубок ухода. Учёными и практиками широко признано, что выбор оптимальных параметров рубок ухода позволяет сократить сроки выращивания технически спелой древесины и увеличить размер пользования древесиной с единицы площади лесфонда.

Важнейшее значение приобретает разработка автоматизированных систем управления и обоснование новых, более прогрессивных методов, режимов, технологий рубок ухода с учётом соблюдения возрастающих требований экологического, технологического, а также экономического характера. Анализ хвойного насаждения, как объекта управления показал, что этому объекту присущи характерные для системы автоматизированного управления понятия, связанные с входными и выходными параметрами.

На рис.1 схематично изображен объект управления, для которого управляющие воздействия  $x_1, \dots, x_n$  характеризуют информационные показатели главного этапа технологического процесса выращивания хвойных насаждений – рубок ухода. Выходные параметры  $y_1, \dots, y_m$  характеризуют технологические параметры насаждений, такие как объём запасаемой древесины, количество деревьев, средний диаметр и средняя высота деревьев в насаждении и т.д. Возмущающие воздействия  $q_1, \dots, q_r$  носят случайный характер и в реальности представляют собой параметры климатических условий, плодородие почвы, присутствие антропогенного воздействия и т.д.

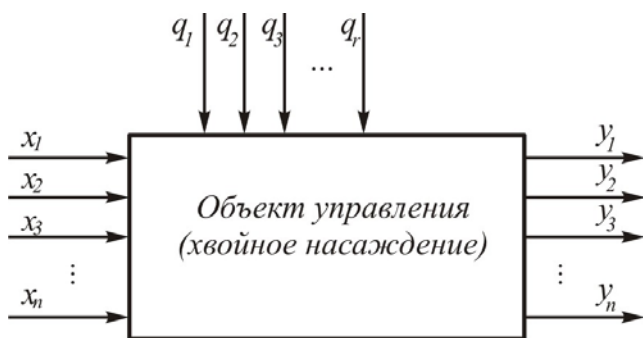


Рис. 1. Структура объекта управления (хвойное насаждение)

На практике управление рубками ухода за лесом строится на определении входных параметров  $x_1, \dots, x_n$ , которые, как правило, формируются без учёта возмущающих воздействий и выходных параметров объекта управления. Существующая практика не использует подходы автоматизированного управления по выбору решений, а выбор параметров рубок ухода осуществляется тремя способами. Первый подход основан на использовании разнообразных таблиц хода роста. Одним из основных недостатков этого подхода является громоздкость табличного материала, обуславливающего всю сложность и малую эффективность прогноза роста хвойных насаждений. Второй способ определения параметров рубок ухода базируется на использовании разработанных планов рубок ухода. Такой подход очень приблизителен, так как планы допускают достаточно большой диапазон варьирования параметров рубок ухода, что является их недостатком. Поэтому эти планы не могут быть применены в АСУ ТП выращивания хвойных насаждений. Третий подход, скорее теоретический, чем практический, основан на построении математических моделей роста насаждений. Однако в настоящее время существуют проблемы в разработке таких математических моделей. Эти модели требуют уточнения, чтобы их можно было рекомендовать для использования в АСУ ТП выращивания хвойных насаждений.

Выполнен анализ, используемых в современных лесных хозяйствах, измерений местоположения и таксационных характеристик отдельных деревьев в лесонасаждениях. Эти измерения проводятся трудоёмким способом, требуют больших затрат времени, что не даёт возможность получать оперативную информацию об объекте управления.



С позиции управления рассмотрены системы лесозаготовительных машин, представляющие собой, относительно объекта управления, исполнительный механизм, и показаны современные подходы в выборе этих систем. Выполнен анализ их основных параметров: производительность, габаритные размеры, стоимость и т.д.

Показано, что в настоящее время в лесопромышленном комплексе отсутствует АСТПП при выполнении рубок ухода за лесом. АСТПП могла бы обеспечить обоснованный выбор систем лесозаготовительных машин и технологий для проведения рубок ухода, что позволило бы лесопользователям, в конечном счёте, получать значительный экономический и экологический эффекты.

Приведены цель и задачи исследования.

**Второй раздел** посвящён критерию оптимальности автоматизированного управления и моделированию технологического процесса ускоренного выращивания одновозрастных хвойных насаждений.

Рассмотрены процессы роста одновозрастных хвойных насаждений как динамические объекты системы автоматизированного управления с переменными параметрами.

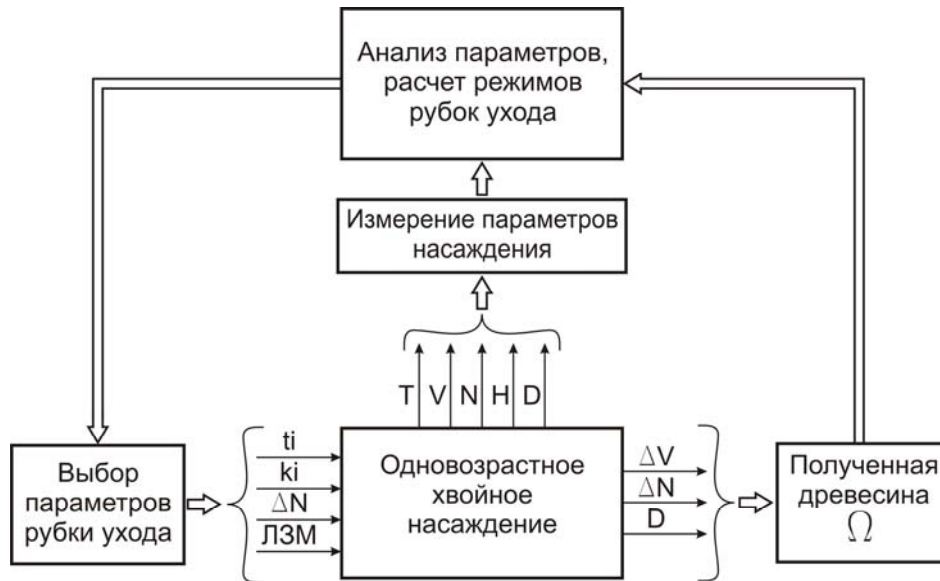
Основной целью плантационного выращивания хвойных насаждений является получение максимального объёма запасаемой древесины. Наиболее значимой задачей является оптимизационная задача максимизации объёма запасаемой древесины за заданный срок лесовыращивания. Формальная постановка этой задачи имеет следующий вид

$$\begin{aligned} \Omega(t_i, k_j) &\rightarrow \max; \\ t_i &\in T; \\ k_j &\in K. \end{aligned} \tag{1}$$

где  $\Omega = \frac{V}{T}$  – критерий оптимальности, представляющий собой годовой объём заготавливаемой древесины;  $V$  – объём древесины заготавливаемый за период лесовыращивания;  $T$  – время лесовыращивания;  $t_i$  – время  $i$  рубки ухода;  $k_j$  – интенсивность изреживания  $j$  рубки ухода.

Структурная схема управления процессом выращивания одновозрастных хвойных насаждений представлена на рис.2. Информация об объекте (таксационные характеристики: объём хвойного насаждения  $V$ , количество деревьев в нём  $N$ , средняя высота  $H$  и средний диаметр  $D$  деревьев в хвойном насаждении) считывается с помощью различных устройств и блоком «измерение параметров» представляется в форме удобной для передачи на управляющую ЭВМ, которая оценивает текущее состояние хвойного насаждения, как объекта управ-

ления, и выдает режимы проведения рубок ухода, включающие в себя возраст хвойного насаждения, при котором будет проведена рубка ухода,  $t_i$ ; интенсивность рубки ухода  $k_i$ ; количество вырубаемых деревьев  $\Delta N$ ; систему лесозаготовительных машин (ЛЗМ).



ЛЗМ - лесозаготовительные машины

Рис.2. Структурная схема управления процессом выращивания одновозрастных хвойных насаждений

В настоящее время существуют методики оптимизации выращивания лесонасаждений путём повышения эффективности проведения рубок ухода. Анализ восстановления полноты насаждений, проведённый С.Н. Сенновым показывает, что прирост насаждения, пройденного правильными рубками ухода можно считать неизменным. При этом отпад оставленных в покое деревьев заметно снижается, и в идеальном случае практически равен нулю, что даёт насаждению восстановиться до исходной полноты. При обоснованном проведении промежуточных рубок величина отпада составляет примерно 0.1 % в год от величины общего запаса насаждения. Поэтому каждую последующую рубку назначают при восстановлении полноты насаждения до единицы.

Для построения метода автоматизированного управления разработаны математические модели, адекватно описывающие процесс роста одновозрастных хвойных насаждений и их реакции на рубки ухода.

Ход роста хвойных насаждений хорошо описывается с использованием функции роста Бергаланфи, известной в таксационной литературе как функция Дракина-Вуевского или Ричарда-Чэпмена, дифференциальное (2) и интегральное (3) уравнения которой имеют вид:

$$\frac{dX_i}{dt} = n_3 \cdot n_2 \cdot n_1^{1/n_3} \cdot X_i^{1-1/n_3} - n_3 \cdot n_2 \cdot X_i, \quad (2)$$

$$X_i = n_1 \left(1 - e^{-n_2 t}\right)^{n_3} \quad \text{при } 0 < t \leq T_p, \quad (3)$$

где  $X_i$  – параметр хода роста насаждения;  $t$  – возраст насаждения, лет;  $n_1, n_2, n_3$  – числовые коэффициенты.

При моделировании объёма стволовой древесины используются модели хода роста насаждения по запасу  $GS(t)$ , общей продуктивности  $TV(t)$  и диаметру  $D(t)$ :

$$GS(t) = gsc_1 \left(1 - e^{-gsc_2 t}\right)^{gsc_3}, \quad (4)$$

где  $gsc_1 = gsc_{13} \cdot Bn^2 + gsc_{12} \cdot Bn + gsc_{11}$ ,

$$gsc_2 = gsc_{23} \cdot Bn^2 + gsc_{22} \cdot Bn + gsc_{21},$$

$$gsc_3 = gsc_{33} \cdot Bn^2 + gsc_{32} \cdot Bn + gsc_{31},$$

$Bn$  – код класса бонитета;  $gsc_{ij}$  – коэффициенты модели.

$$TV(t) = tvc_1 \left(1 - e^{-tvc_2 t}\right)^{tvc_3}, \quad (5)$$

где  $tvc_1 = tvc_{13} \cdot Bn^2 + tvc_{12} \cdot Bn + tvc_{11}$ ,

$$tvc_2 = tvc_{23} \cdot Bn^2 + tvc_{22} \cdot Bn + tvc_{21},$$

$$tvc_3 = tvc_{33} \cdot Bn^2 + tvc_{32} \cdot Bn + tvc_{31},$$

$tvc_{ij}$  – коэффициенты модели.

$$D(t) = dc_1 \left(1 - e^{-dc_2 t}\right)^{dc_3}, \quad (6)$$

где  $dc_1 = dc_{13} \cdot Bn^2 + dc_{12} \cdot Bn + dc_{11}$ ,

$$dc_2 = dc_{23} \cdot Bn^2 + dc_{22} \cdot Bn + dc_{21},$$

$$dc_3 = dc_{33} \cdot Bn^2 + dc_{32} \cdot Bn + dc_{31},$$

$dc_{ij}$  – коэффициенты модели.

Объём получаемой стволовой древесины за весь период выращивания насаждения определяется по формуле

$$\begin{aligned} V(t_1, k_1) = & k_1 \cdot GS_1(t_1) + k_2(t_1, k_1) \cdot GS_2(t_1, k_1) + \\ & + k_3(t_1, k_1) \cdot GS_3(t_1, k_1) + k_4(t_1, k_1) \cdot GS_4(t_1, k_1) + GS_5(t_1, k_1) \end{aligned} \quad (7)$$

где  $k_1, k_2, k_3, k_4$  и  $t_1$  – параметры рубок ухода.

Модели (2) – (7) образуют систему уравнений, решение которой позволяет получить оптимальные показатели АСУ ТП выращивания одновозрастных хвойных насаждений.

Структурная схема вычислительных процедур показана на рис.3. В структурной схеме показаны условно два процесса роста одновозрастных хвойных

насаждений. Ветвь А характеризует процесс роста при условии проведения рубок ухода. Ветвь Б характеризует естественный процесс роста лесонасаждения и, хотя его объём постоянно возрастает, полнота лесонасаждения в каждый момент времени остается постоянной и равна единице. Временные интервалы, определяющие этапы воздействия на объект управления (лесонасаждение) вычисляются с учётом восстановления полноты лесонасаждения до единицы.

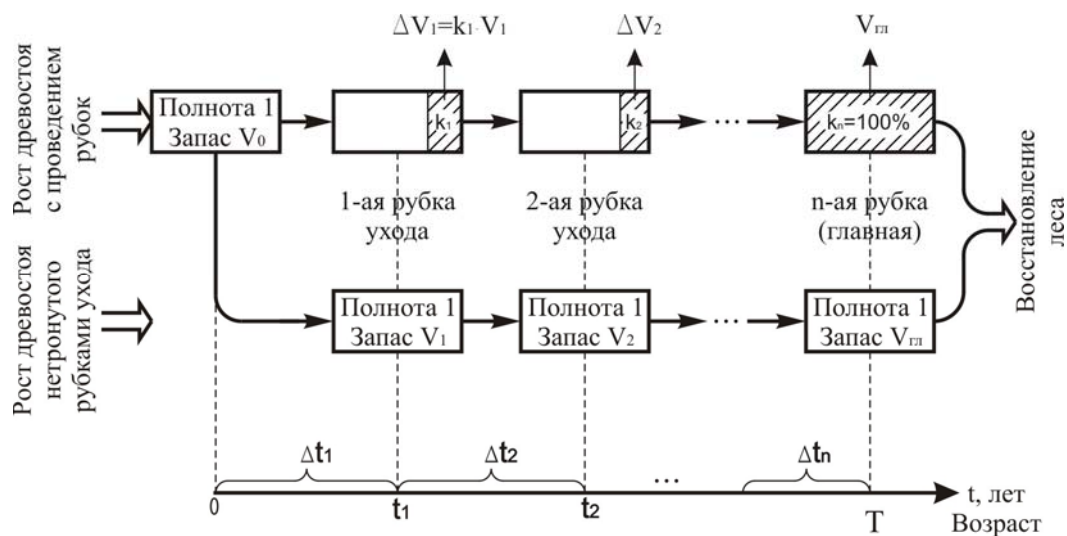


Рис.3. Структура вычислительных процедур оптимизации режимов и параметров рубок ухода за лесом в АСУ

Получены уравнения регрессии составляющие математическую модель и дающие возможность решения задачи многокритериальной оптимизации параметров АСУ ТП и АСТПП по выбору оптимальной системы лесозаготовительных машин, при которой количество повреждённых деревьев будет минимальным. Решена задача, содержащая конфликтную ситуацию: с одной стороны необходимо минимизировать повреждаемость деревьев, с другой – оставить производительность системы машин при проведении рубок ухода за лесом на довольно высоком уровне.

**Третий раздел** посвящён разработке метода автоматизированного сбора данных о состоянии объекта управления – хвойного насаждения.

Автором предложен новый способ сбора информационных показателей о хвойном насаждении по фотоизображению (Патент 2412587 RU). Достоинство этого способа заключается в том, что автоматизируется процесс построения плана расположения отдельных деревьев в хвойном насаждении и определяются их информационные показатели. Форма представления этих данных удобна для использования в вычислительной технике. Автором разработана компью-

терная программа «Автоматизированный сбор таксационных и геодезических параметров насаждения по фотоизображению» для реализации этого способа.

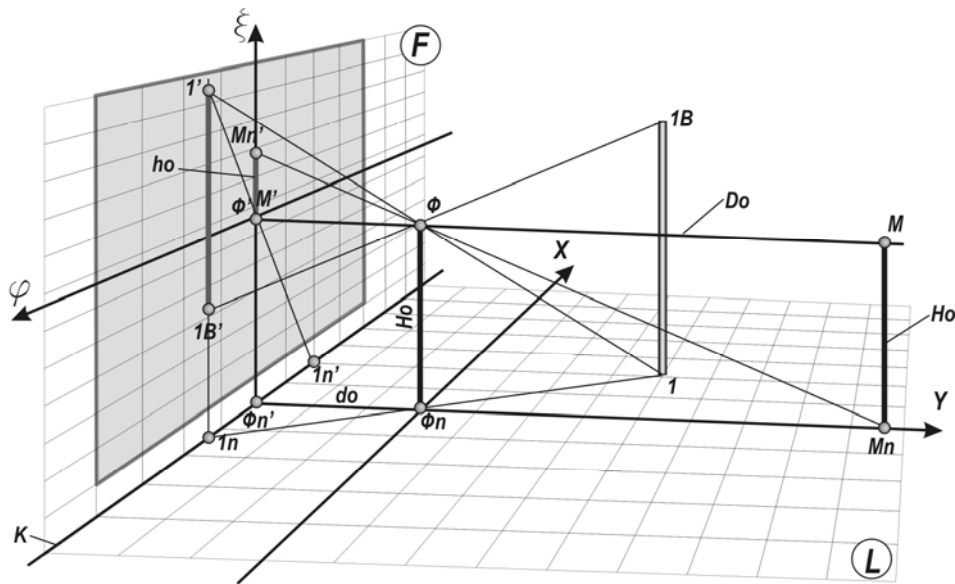


Рис.4. Схема определения координат по фотоизображению. Аксонометрия.

Метод определения координат положения основания учётного дерева заключается в следующем. Устройство фотографирования располагают возле участка с учётными деревьями таким образом, чтобы его фокус  $\Phi$  располагался на высоте  $H_0 = 1,3$  м (рис.4, плоскость  $L$ ) над базовой точкой. На этом участке, на предварительно измеренном расстоянии  $D_0$ , на высоте  $H_0 = 1,3$  м располагается метка  $M$  и производится построение изображения и его фиксирование в плоскости  $F$  (рис.4, рис.5). На плоскости изображения  $F$  строятся оси координат с началом отсчёта в точке  $\Phi'$  ( $M'$ ). Горизонтальная ось  $\varphi$  располагается параллельно линии  $K$  (рис.5), а вертикальная ось  $\xi$  – перпендикулярно линии  $K$ . На плоскости  $L$  участка учётных деревьев начало отсчёта для осей координат выбирается в точке  $\Phi_n$  (базовая точка) (рис.5). Ось  $X$  располагается параллельно линии  $K$ , а ось  $Y$  – перпендикулярно линии  $K$ , и проходят через базовую точку  $\Phi_n$ .

При этом существует взаимнооднозначное соответствие между точками плоскости  $L$  и точками плоскости изображения  $F$ . Формулы преобразования координат  $(\varphi, \xi)$  точек плоскости изображения  $F$  в координаты  $(x, y)$  точек плоскости  $L$  имеют следующий вид:

$$x_1 = H_0 \frac{\varphi_1}{\xi_1}, \quad y_1 = D_0 \frac{h_0}{\xi_1}. \quad (8)$$

Для получения координат положения учётных деревьев необходимо произвести измерение координат точек основания учётных деревьев на изображе-



точка пересечения плоскости  $F$  и луча, проходящего через точку 1 и точку  $\Phi$ ;  $1B'$  – точка пересечения плоскости  $F$  и луча, проходящего через точку  $1B$  и точку  $\Phi$ ;  $\Phi$  – фокус устройства получения изображения;  $\Phi n$  – проекция фокуса  $\Phi$  на плоскость  $L$ , базовая точка;  $\Phi'$  – проекция фокуса  $\Phi$  на плоскость  $F$ ;  $\Phi n'$  – проекция точки  $\Phi n$  на плоскость  $F$ ;  $M$  – метка;  $Mn$  – проекция метки  $M$  на плоскость  $L$ ;  $M'$  – точка пересечения плоскости  $F$  и луча, проходящего через метку  $M$  и фокус  $\Phi$ ;  $Mn'$  – точка пересечения плоскости  $F$  и луча, проходящего через точку  $Mn$  и точку  $\Phi$ .

В четвёртом разделе представлены алгоритмы, структуры АСУ ТП ускоренного выращивания одновозрастных хвойных насаждений. Показана методология и научные основы построения АСУ ТП.

Структура программного обеспечения метода автоматизированного управления технологическим процессом выращивания одновозрастных хвойных насаждений показана на рис.6.

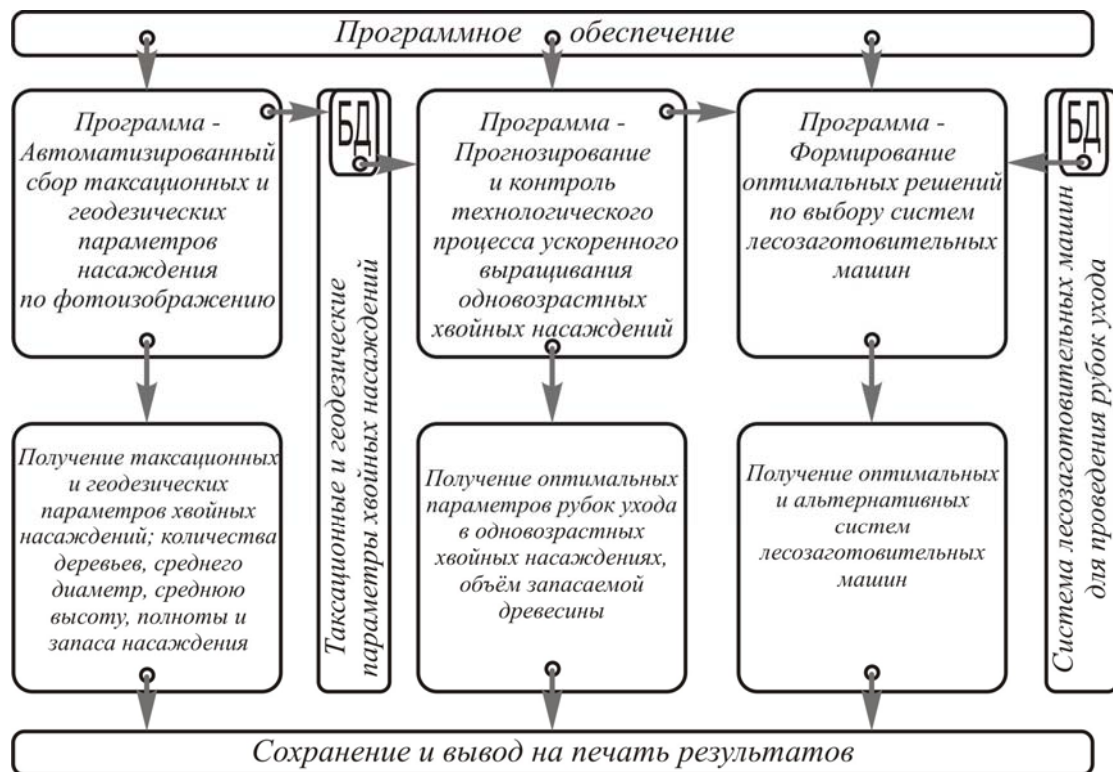


Рис.6. Структура программного обеспечения АСУ ТП выращивания одновозрастных хвойных насаждений. БД – база данных.

Разработан комплекс алгоритмов, реализующих программное обеспечение АСУ ТП выращивания хвойных насаждений и АСТПП по выбору оптимальной системы лесозаготовительных машин. Основные алгоритмы приведены ниже.

- Алгоритм программы «Прогнозирование и контроль технологического

процесса ускоренного выращивания одновозрастных хвойных насаждений».

- Алгоритм выбора математических моделей параметров хода роста одновозрастных хвойных насаждений, как процесса с переменными параметрами.
- Алгоритм расчёта интегральных показателей хода роста одновозрастных хвойных насаждений.
- Алгоритм оптимизации управленческих решений по выбору систем лесозаготовительных машин для проведения рубок ухода за лесом с минимальным экологическим ущербом.

В **пятом разделе** представлены результаты практической реализации разработанного метода автоматизированного управления технологическим процессом выращивания одновозрастных хвойных насаждений. В учебно-опытном лесхозе Воронежской государственной лесотехнической академии были проведены работы с использованием режимов, полученных методом автоматизированного управления технологическим процессом для одновозрастных хвойных насаждений. Результаты диссертационной работы использовались в филиале ФГУП «РОСЛЕСИНФОРГ» «ВОРОНЕЖЛЕСПРОЕКТ». Показаны диаграммы и таблицы результатов работы программного обеспечения метода автоматизированного управления технологическим процессом.

В **заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы с точки зрения достижения целей, и изложены основные направления научного развития АСУ ТП выращивания хвойных насаждений.

В **приложении** приведены следующие материалы:

- экспериментальные данные;
- материалы патентов;
- акты производственной апробации разработок диссертационной работы.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

1. Анализ современных подходов к управлению технологическим процессом выращивания одновозрастных хвойных насаждений показал, что отсутствуют автоматизированные системы управления этим процессом.

2. Разработаны модели управляемого технологического процесса выращивания одновозрастных хвойных насаждений как объекта управления, связывающие исходные информационные показатели хвойного насаждения с годовым приростом объёма древесины.

3. Разработаны методы сбора, мониторинга информационных показа-



телей входных и выходных параметров для АСУ ТП выращивания одновозрастных хвойных насаждений, основанные на способе измерения местоположения и таксационных характеристик учётных деревьев (Патент 2412587 RU).

4. Построены алгоритмы для реализации метода управления технологическим процессом выращивания одновозрастных хвойных насаждений, обеспечивающие нахождение оптимальных параметров функционирования АСУ ТП.

5. Разработана программа для расчёта режимов оптимального ускоренного выращивания хвойных насаждений (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010610420).

6. Разработана АСТПП по выбору системы лесозаготовительных машин для проведения рубок ухода.

7. Разработана программа «Автоматизированная система технологической поддержки производства по выбору оптимальной системы лесозаготовительных машин для проведения рубок ухода за лесом» (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012612050).

8. Результаты представленной работы апробированы в учебно-опытном лесхозе Воронежской государственной лесотехнической академии (г.Воронеж) и в филиале ФГУП «РОСЛЕСИНФОРГ» «ВОРОНЕЖЛЕСПРОЕКТ» (г.Воронеж).

## **СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### Публикации в изданиях, рекомендованных решением ВАК

1. Мурзинов Ю.В., Малышев В.В, Петровский В.С. Модели, алгоритмы САПР ускоренного выращивания сосновых древостоев [Текст] // Вестник Воронежского государственного технического университета. Том 6, №5, 2010. – С. 90-92.

2. Мурзинов Ю.В. Система автоматизации инженерных расчётов режимов и параметров рубок ухода за лесом [Текст] // Автоматизация и современные технологии. – М.: Машиностроение, 2011, №9. – С. 3-8.

3. Мурзинов Ю.В. Автоматизация выбора системы лесозаготовительных машин для проведения рубок ухода в хвойных насаждениях [Электронный ресурс] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар: КубГАУ, 2011. – №10(74). – С. 323–330.

4. Мурзинов Ю.В. Оптимизация параметров автоматизированной системы управления выращиванием сосновых насаждений [Электронный ресурс] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар:

КубГАУ, 2011. – №10(74). – С. 331–339.

5. Мурзинов Ю.В. Автоматизированная система построения плана расположения деревьев в лесонасаждении [Текст]. – Автоматизация и современные технологии. – М.: Машиностроение, 2012, №5. – С. 15-19.

#### Патенты и свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

6. Патент 2363149 RU. Электронная лесная мерная вилка [Текст] / Петровский В.С., Филипцов М.В., Мурзинов Ю.В. – Оpubл. 10.08.2009 – Бюл. №22.

7. Патент 2412587 RU. Способ измерения местоположения и таксационных характеристик учетных деревьев [Текст]: / Ю.В. Мурзинов, В.С. Петровский. – Оpubл. 27.02.2011. – Бюл. №6.

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2010610420. Программа для расчета режимов оптимального ускоренного выращивания сосновых древостоев / Мурзинов Ю.В., Малышев В.В., Петровский В.С. – Оpubл. 11.01.2010. – Электронный бюллетень - Программы для ЭВМ, базы данных, топологии интегральных микросхем № 2.

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2012612050. Автоматизированная система технологической поддержки производства по выбору оптимальной системы лесозаготовительных машин для проведения рубок ухода за лесом / Мурзинов Ю.В. – Оpubл. 22.12.2011. – Электронный бюллетень - Программы для ЭВМ, базы данных, топологии интегральных микросхем № 2.

#### Конференции

10. Мурзинов Ю.В. Автоматизация процесса выбора режимов выращивания древесины для деревообрабатывающих производств [Текст]. – В кн.: Современные технологические процессы получения материалов и изделий из древесины: Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию факультета технологии деревообработки ГОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия»/ под ред. д-ра техн. наук, проф. А.О. Сафонова. Воронеж: ВГЛТА, 2010. – С. 308-310.

11. Мурзинов Ю.В. Минимизация повреждаемости древостоев при проведении рубок ухода за лесом [Текст]. – В кн.: Актуальные проблемы лесного комплекса/ Под ред. Е.А. Памфилова. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. Выпуск 25. Брянск: БГИТА, 2010. – С. 37-39.

12. Мурзинов Ю.В. Математическое моделирование формирования повреждений хвойных древостоев, остающихся после рубок ухода [Текст]. – В кн.: Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф.: в 2 ч. Ч.1/ редкол.: Е.И. Яцун (отв. ред.) [и др.]. Курск: Юго-Зап. гос. ун-т., 2011. – С. 203-207.

13. Мурзинов Ю.В. Метод автоматизированного управления выращиванием одновозрастных хвойных насаждений [Текст]. – В кн.: Актуальные проблемы лесного комплекса/ Под ред. Е.А. Памфилова. Сборник научных тру-

дов по итогам международной научно-практической конференции. Выпуск 30. Брянск: БГИТА, 2011. – С. 37-41.

14. Мурзинов Ю.В., Петровский В.С. Компьютеризация управления ускоренным выращиванием хвойных лесонасаждений [Текст]. – В кн.: Актуальные проблемы профессионального образования: материалы X-ой международной, научно-практической конференции. Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2012. – С. 298-299.

#### Монографии

15. Петровский В.С. Автоматизированное проектирование режимов и выбора машин для проведения рубок ухода за лесом [Текст] : монография/ В.С. Петровский, В.В. Малышев, Ю.В. Мурзинов. – М.: ФЛИНТА: Наука, 2012. – 216 с.

#### Публикации в других изданиях

16. Мурзинов Ю.В., Малышев В.В., Петровский В.С. Максимизация производительности лесных машин для проведения рубок ухода за лесом [Текст]. – В кн.: Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления: Межвузовский сборник научных трудов/ Под ред. д-ра техн. наук, проф. В.С. Петровского. Воронеж: ВГЛТА, 2009. – С. 82-85.

17. Мурзинов Ю.В. Построение математических моделей при разработке САПР ускоренного выращивания древостоев [Текст]. – В кн.: Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления: Межвузовский сборник научных трудов/ Под ред. д-ра техн. наук, проф. В.С. Петровского. Воронеж: ВГЛТА, 2010. – С. 7-10.

18. Мурзинов Ю.В. Построение математических моделей при разработке САПР ускоренного выращивания древостоев [Текст]. – В кн.: Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления: Межвузовский сборник научных трудов/ Под ред. д-ра техн. наук, проф. В.С. Петровского. Воронеж: ВГЛТА, 2010. – С. 7-10.