

УДК 519.688:630*245

UDK 519.688:630*245

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ВЫРАЩИВАНИЕМ
СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ****OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF
AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF
CULTIVATION OF PINE PLANTINGS**

Мурзинов Юрий Валерьевич
*Воронежская государственная лесотехническая
академия, Воронеж, Россия*

Murzinov Jury Valerjevich
*Voronezh State Academy of Forestry and
Technologies, Voronezh, Russia*

В статье рассмотрена возможность повышения эффективности автоматизированной системы управления выращиванием сосновых насаждений при помощи оптимизации режимов и параметров рубок ухода за лесом. Представлены регрессионные уравнения для определения параметров роста деревьев. Выделен критерий оптимизации рубок ухода в сосновых насаждениях. Показано увеличение выхода полезной древесины и снижения возраста технической спелости деревьев при использовании автоматизированной системы управления

In the article, the opportunity of increase of efficiency of automated control system of cultivation of pine plantings by means of optimization of modes and parameters of cleaning cutting of forestry is considered. The regression equations for definition of parameters of growth of trees are received. The criterion of optimization of cleaning cutting in pine plantings is allocated. The increase of the forest yield and reduction in age of technical maturity of trees is shown, with a help of automated control system

Ключевые слова: АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, РЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ, РУБКИ УХОДА, СОСНОВЫЕ НАСАЖДЕНИЯ, ВЫРАЩИВАНИЕ ЛЕСА

Keywords: AUTOMATED CONTROL SYSTEM, REGRESSION MODELS, CLEANING CUTTING, PINE PLANTINGS, CULTIVATION OF A WOOD

Повышение выхода деловой древесины и улучшение качества состава лесов в настоящее время является одной из основных проблем лесного хозяйства РФ.

Рубки ухода за лесом были и остаются самым трудоёмким, сложным и потому проблематичным лесохозяйственным мероприятием. Уход за лесом является распределённым во времени процессом на протяжении всего периода лесовыращивания и на каждом возрастном этапе имеет свои особенности, которые заключаются, прежде всего, в возрастной оптимизации площади питания каждого дерева [1]. Для эффективного планирования проведения рубок ухода за лесом необходимо иметь достаточно точные математические модели, наиболее полно описывающие процессы выращивания насаждений.

Повышение эффективности выращивания сосновых насаждений возможно за счёт оптимизации режимов и параметров рубок ухода,

которая основывается на анализе текущего состояния насаждения описываемого таблицами хода роста.

Таблицы находят применение в научных исследованиях при проектировании лесохозяйственных мероприятий, прогнозировании общей продуктивности лесов и установлении эффективности деятельности лесохозяйственных предприятий. Статистическая информация о ходе роста деревьев, заключенная в таблицах хода роста, может использоваться для построения эмпирических зависимостей, связывающих параметры роста деревьев и таксационные показатели насаждений. Обработка статистических данных методом наименьших квадратов позволяет построить регрессионные модели, наиболее точно описывающие процессы роста и развития насаждений.

В ФБГОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия» на кафедре «Автоматизация производственных процессов» разработаны двухпараметрические регрессионные модели хода роста сосновых насаждений, а так же модели, описывающие реакции на проведение внутренних рубок ухода. Двухпараметрические регрессионные модели наиболее полно и точно отражают динамику развития насаждений.

Таблица 1

Коэффициенты регрессионной модели средней высоты в насаждениях сосны обыкновенной

Бонитет	m_0	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_6	m_7	m_8
Iб	$-2.908 \cdot 10^{-2}$	3.957	$4.837 \cdot 10^{-2}$	-5.917	0.353	-0.299	$5.363 \cdot 10^{-4}$	$-1.342 \cdot 10^{-4}$	$3.569 \cdot 10^{-7}$
Iа	$-1.381 \cdot 10^{-2}$	2.149	$3.115 \cdot 10^{-2}$	-3.134	0.2	-0.17	$-2.86 \cdot 10^{-4}$	$9.055 \cdot 10^{-5}$	$1.885 \cdot 10^{-7}$
I	$-2.044 \cdot 10^{-2}$	1.743	$3.588 \cdot 10^{-2}$	-2.771	0.347	-0.244	$2.718 \cdot 10^{-5}$	$8.036 \cdot 10^{-5}$	$-7.563 \cdot 10^{-7}$
II	$-1.376 \cdot 10^{-2}$	1.738	$2.002 \cdot 10^{-2}$	-3.546	0.246	-0.152	$-4.002 \cdot 10^{-4}$	$8.801 \cdot 10^{-5}$	$4.601 \cdot 10^{-7}$
III	$-3.174 \cdot 10^{-2}$	1.828	$1.838 \cdot 10^{-2}$	-4.987	0.279	$-9.713 \cdot 10^{-2}$	$-2.548 \cdot 10^{-4}$	$1.061 \cdot 10^{-4}$	$4.582 \cdot 10^{-7}$

Для построения автоматизированной системы управления выращиванием одновозрастных сосновых насаждений получены следующие регрессионные модели:

Двухпараметрическая модель средней высоты дерева

$$H(\dot{O}, D) = m_0 + m_1T + m_2T^2 + m_3D + m_4D^2 + m_5TD + m_6TD^2 + m_7T^2D + m_8T^2D^2 \quad (1)$$

где H – средняя высота дерева, м; T – возраст насаждения, лет; D – средний диаметр деревьев, м; $m_0...m_8$ – коэффициенты регрессионной модели, значения которых показаны в табл.1.

Таблица 2

Коэффициенты регрессионной модели количества деревьев в насаждениях сосны обыкновенной

Бонитет	k_0	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6
Іб	13347.38	-872.23	26.88	-0.46	$4.448 \cdot 10^{-3}$	$-0.227 \cdot 10^{-4}$	$0.478 \cdot 10^{-7}$
Іа	14050.86	-915.23	28.44	-0.49	$4.792 \cdot 10^{-3}$	$-2.469 \cdot 10^{-5}$	$5.208 \cdot 10^{-8}$
І	14416.66	-895.17	26.81	-0.45	$4.249 \cdot 10^{-3}$	$-2.134 \cdot 10^{-5}$	$4.406 \cdot 10^{-8}$
ІІ	13254.96	-553.28	9.46	$-7.226 \cdot 10^{-2}$	$1.993 \cdot 10^{-4}$	$3.724 \cdot 10^{-8}$	0
ІІІ	13235.77	-461.2	6.62	$-4.308 \cdot 10^{-2}$	$1.044 \cdot 10^{-4}$	0	0

Модель количества деревьев в насаждении

$$N = k_0T^6 + k_1T^5 + k_2T^4 + k_3T^3 + k_4T^2 + k_5T + k_6 \quad (2)$$

где N – количество деревьев в насаждении в возрасте T , шт; $k_0...k_6$ – коэффициенты регрессионной модели (табл.2).

Двухпараметрическая модель общего текущего прироста

$$Z^{ob}(\dot{O}, \dot{I}) = x_0 + x_1T + x_2T^2 + x_3H + x_4H^2 + x_5TH + x_6TH^2 + x_7T^2H + x_8T^2H^2 \quad (3)$$

где Z^{ob} – общий текущий прирост насаждения, m^3 ; $x_0...x_8$ – коэффициенты регрессионной модели (табл.3).

Двухпараметрическая модель прироста растущей части

$$Z^{pact}(\dot{O}, \dot{I}) = y_0 + y_1T + y_2T^2 + y_3H + y_4H^2 + y_5TH + y_6TH^2 + y_7T^2H + y_8T^2H^2 \quad (4)$$

где Z^{pact} – прирост растущей части насаждения, m^3 ; $y_0...y_8$ – коэффициенты регрессионной модели (табл. 4).

Таблица 3

Коэффициенты регрессионной модели общего текущего прироста в насаждениях сосны обыкновенной

Бонитет	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈
Іб	2.246•10 ⁻²	-2.479	1.336•10 ⁻²	6.402	-0.199	5.592•10 ⁻²	6.36•10 ⁻⁴	-1.262•10 ⁻⁴	-7.224•10 ⁻⁶
Іа	1.242•10 ⁻²	-1.696	3.578•10 ⁻³	5.361	-0.164	4.151•10 ⁻²	4.792•10 ⁻⁴	-6.644•10 ⁻⁵	-2.335•10 ⁻⁶
І	3.949•10 ⁻³	-1.054	-1.414•10 ⁻²	4.277	-5.946•10 ⁻²	2.058•10 ⁻²	-4.435•10 ⁻⁵	3.214•10 ⁻⁴	4.565•10 ⁻⁶
ІІ	0.139•10 ⁻²	2.04	-8.06•10 ⁻³	-9.034	-1.297	1.045•10 ⁻²	-1.717•10 ⁻⁴	-1.861•10 ⁻⁴	8.658•10 ⁻⁶
ІІІ	1.381•10 ⁻³	-0.958	-3.418•10 ⁻³	4.569	-0.127	3.419•10 ⁻²	-7.669•10 ⁻⁵	2.335•10 ⁻⁷	5.934•10 ⁻⁷

Таблица 4

Коэффициенты регрессионной модели прироста растущей части в насаждениях сосны обыкновенной

Бонитет	y ₀	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄	y ₅	y ₆	y ₇	y ₈
Іб	6.408•10 ⁻²	-1.831	2.004•10 ⁻²	4.912	-0.227	6.38•10 ⁻²	6.911•10 ⁻⁴	-2.273•10 ⁻⁴	-1.135•10 ⁻⁵
Іа	2.382•10 ⁻²	-1.169	1.219•10 ⁻²	3.929	-0.229	6.63•10 ⁻²	5.218•10 ⁻⁴	-3.019•10 ⁻⁴	-6.386•10 ⁻⁶
І	5.772•10 ⁻²	-1.364	1.756•10 ⁻²	4.662	-0.263	4.756•10 ⁻²	1.198•10 ⁻³	-4.206•10 ⁻⁴	-8.971•10 ⁻⁶
ІІ	3.986•10 ⁻²	-1.273	1.488•10 ⁻²	4.039	-0.234	7.006•10 ⁻²	9.526•10 ⁻⁴	-3.744•10 ⁻⁴	-7.16•10 ⁻⁶
ІІІ	-4.452•10 ³	-1.06	1.826•10 ⁻²	5.318	1.222•10 ⁻²	-0.13	3.922•10 ⁻³	-1.494•10 ⁻⁴	-1.355•10 ⁻⁵

Полученные регрессионные модели (1), (2), (3) и (4) позволяют получить оптимальные показатели режимов и параметров рубок ухода. Для реализации оптимизации выращивания хвойных насаждений было получено уравнение, определяющее запас разреживаемого насаждения в возрасте T

$$V_T = V_{T_0} + \sum_{t=T_0}^{T_1} Z_t^{pact} + \sum_{t=T_0}^T (Z_t^{ob} - V_t K_0) - \sum_{j=1}^n \Delta V_j, \quad (5)$$

где V_T – запас разреживаемого насаждения в возрасте T , м³; V_{T_0} – запас насаждения до проведения промежуточных рубок в некотором начальном периоде T_0 , м³; $K_0=0,1...0,2\%$ – среднегодовой процент отпада после проведения промежуточных рубок; T_1 – время проведения первой рубки, лет; n – количество рубок ухода, проведенных за период от T_0 до T ; ΔV_j – часть запаса, удаляемая при p -й промежуточной рубке и равная объёму промежуточного пользования, м³

$$\Delta V_j = P_j \cdot V_j, \tag{6}$$

где P_j – процент изреживания насаждения по запасу.

В настоящее время существуют методики оптимизации выращивания насаждений путём повышения эффективности проведения рубок ухода. Анализ восстановления полноты насаждений, проведённый С.Н. Сенновым [2] показывает, что прирост насаждения, пройденного правильными рубками ухода, исходя из природы снижения полноты, можно считать неизменным. При этом отпад оставленных в покое деревьев заметно снижается, и в идеальном случае практически равен нулю, что дает насаждению восстановиться до исходной полноты. С.Н. Сеннов утверждает, что при обоснованном проведении промежуточных рубок величина отпада составляет примерно 0.1% в год от величины общего запаса. Поэтому каждую последующую рубку назначают при восстановлении полноты насаждения до 1.

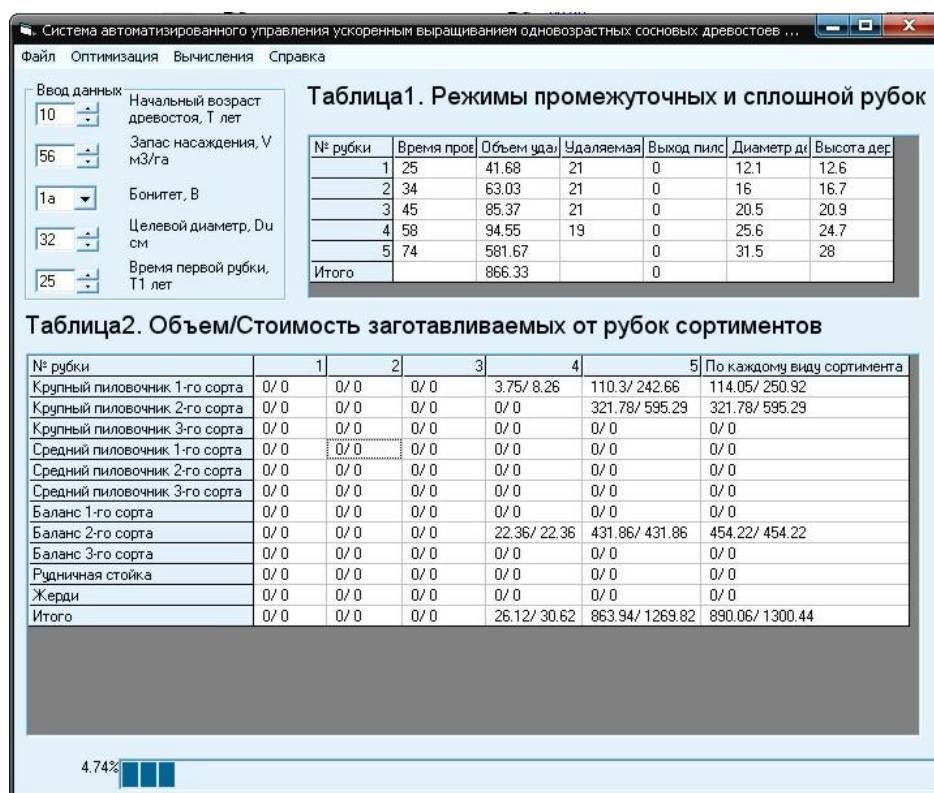


Рис.1. Интерфейс системы автоматизации поиска оптимальных режимов и параметров рубок ухода

Процесс лесовыращивания развёрнут во времени и временные интервалы между рубками ухода являются главным фактором, влияющим на объём получения деловой древесины. Время проведения рубки в значительной степени зависит от полноты насаждения и запаса древесины.

На основе двухпараметрических регрессионных моделей хода роста (1)-(4) и уравнения (5) была разработана компьютерная программа для ЭВМ [3]. Интерфейс работы программы, показан на рис.2. В процессе работы программы варьируются проценты изреживания запаса насаждения P_j и возраст проведения первой рубки T_1 , и, следовательно, возрасты проведения рубок ухода T_i . Оптимизация режимов и параметров рубок ухода будет проводиться по общему объёму заготавливаемой древесины (7).

$$\begin{aligned} V(T_i, P_j) \rightarrow \max, \\ T_i \in T. \\ P_j \in P \end{aligned} \quad (7)$$

Разработанная система автоматизированного управления выращиванием одновозрастных сосновых насаждений осуществляет имитационное моделирование хода роста сосновых насаждений (Iб, Ia, I, II и III бонитетов) позволяет отобразить динамику их основных таксационных параметров. Преимуществами применения компьютерной оптимизации планирования рубок ухода является увеличение пользования древесиной, снижение возраста получения технически спелой древесины и улучшение качества древесных стволов.

Для сосновых насаждений Учебно-опытного лесхоза ФБГОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия» с помощью программы «Система автоматизации инженерных расчётов режимов и параметров рубок ухода за лесом» были проведены оптимизационные расчёты. На рис.2 показана эффективность использования машинных

методов расчёта оптимальных режимов и параметров рубок ухода за лесом.

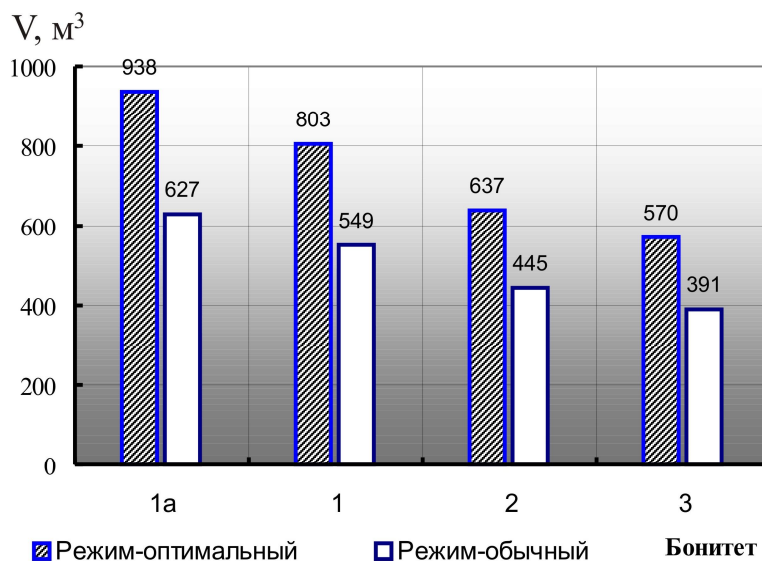


Рис.2. Объём выхода деловой древесины при среднем возрасте главной рубки 82 года

Для наглядной оценки эффективности системы автоматизации инженерных расчётов режимов и параметров рубок ухода за лесом используем целевую функцию Ω , характеризующую отношение увеличения объёма получаемой от проведения рубок ухода древесины к сроку выращивания.

$$\Omega = \frac{\Delta V}{T}, \text{ м}^3/\text{ГОД}, \quad (8)$$

где ΔV – увеличение объёма запасаемой древесины после проведения рубок ухода по сравнению с контрольным объёмом запасаемой древесины.

Целевая функция (8) показывает, насколько увеличится пользование древесиной с 1 га площади за 1 год лесовыращивания по сравнению с контрольным насаждением. Наиболее выгодным будут являться те режимы проведения рубок ухода, при которых $\Omega \rightarrow \max$.

По расчётам, проведенным для учебно-опытного лесхоза ФБГОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», пользование древесиной сосны увеличится в среднем на 3,2 м³/га в год (на 16,7 %), что показано на рис.3.

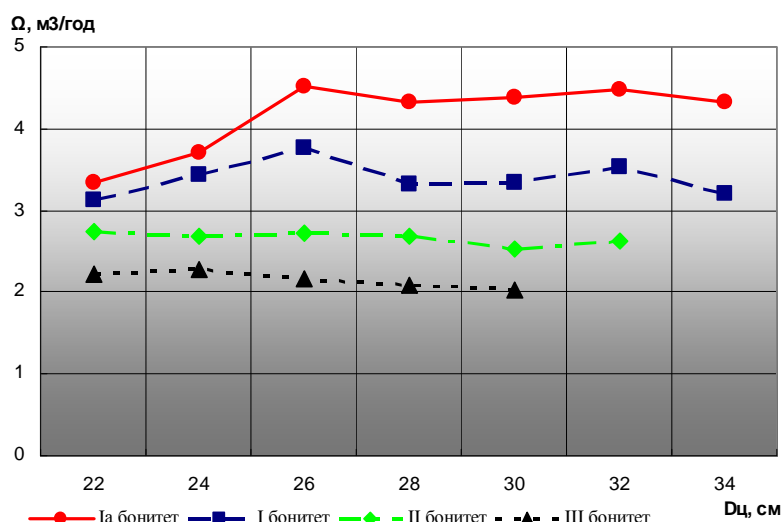


Рис.3. Среднегодовое увеличение пользования древесины с 1га

Моделирование процесса лесовыращивания позволило определить оптимальные параметры автоматизированной системы управления этим процессом. Внедрение этого метода расчёта параметров позволит для действующих лесхозов получить дополнительный объём деловой древесины, снизить затраты на обслуживание техники и получить реальную экономию средств.

Литература

1. Малышев В.В., Петровский В.С. Разработка и проверка теории метода моделирования динамики распределенных технологических систем многолетнего формирования плантационных древостоев [Текст]. – Вестник Воронежского государственного технического университета. Том 2, №12, 2006. – С. 156-159
2. Сеннов С.Н. Уход за лесом (экологические основы). М.: Лесн. пром-ть, 1984. 128 с.
3. Патент 2010610420 РФ. Программа для расчёта режимов оптимального ускоренного выращивание сосновых древостоев: программа для ЭВМ. М.: Роспатент, 2010.