

634.0.2

Т 35

Министерство высшего и среднего специального  
образования БССР

Белорусский технологический институт  
имени С.М.Кирова

630\*221

На правах рукописи

ТЕРЕХОВА РИТА ЛЬВОВНА

ВЛИЯНИЕ ИЗРЕЖИВАНИЙ НА РОСТ ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ  
СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ БЕЛОРУССИИ И ОПТИМАЛЬНАЯ  
МОДЕЛЬ РУБОК УХОДА В НИХ

06.03.03. - Лесоведение, лесоводство и защитное  
лесоразведение; лесные пожары и  
борьба с ними

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

Минск, 1977

Работа выполнена в Белорусском научно-исследовательском институте лесного хозяйства

Научный руководитель - доктор сельскохозяйственных наук  
КОЛЕВНИКОВ А.М.

Официальные оппоненты:

доктор сельскохозяйственных наук, профессор АНТАНАЙТИС В.В.  
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент ГРИГОРЬЕВ В.П.

Ведущее предприятие - Белорусское лесоустроительное  
предприятие "Леспроект"

Защита состоится 1977г. на заседании специализированного совета К 497/1 по присуждению ученой степени кандидата наук в Белорусском технологическом институте им. С.М.Кирова (220630, г. Минск, 50, ул. Свердлова, 13-а, IY корпус, ауд. 220)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан " " 1977г.

Ученый секретарь специализированного совета К-497/1 -  
кандидат с.-х. наук, доцент А.Э.Рихтер

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность тем. XXV съезд КПСС поставил перед работниками лесного хозяйства задачу повышать продуктивность лесов, получать больше товарной древесины с каждого гектара лесной площади, рационально использовать лесные ресурсы. Большое значение в решении этой важной народнохозяйственной проблемы имеют рубки ухода за лесом, которые проводятся, в основном, в насаждениях высших классов бонитета. Характеристика лесного фонда Белоруссии показывает, что в республике имеется значительная база для их проведения.

4732ap  
Рубкам ухода как у нас в стране, так и за рубежом посвящены многочисленные исследования. Однако в данной проблеме не все вопросы изучены в достаточной степени. Дальнейшая интенсификация лесохозяйственного производства, развитие и использование современных математических методов и ЭВМ диктуют необходимость определять оптимальные режимы лесохозяйственных мероприятий, сочетающие в себе как лесоводственные преимущества, так и высокую экономическую эффективность. Последнее возможно лишь при изучении влияния рубок ухода на рост насаждений и формализации возникающих при этом количественных связей.

Цель работы. Работа посвящена установлению влияния изреживаний разной интенсивности на рост высокопродуктивных сосновых древостоев Белоруссии и разработке оптимальной модели рубок ухода в них. Программой исследований предусматривалось изучение следующих вопросов: 1) определить влияние погодных условий на прирост высокополнотных и изреженных древостоев; 2) исследовать закономерности в строении древостоев, пройденных руб-

ками ухода; 3) выявить количественные связи между таксационными показателями древостоев в связи с рубками ухода; 4) разработать на основе лесоводственно-экономического анализа оптимальную модель рубок ухода за лесом с помощью динамического программирования.

Научная новизна результатов исследований. Впервые установлен закономерный характер рядов распределения стволов по величине текущего прироста диаметра и площади сечения в высокополнотных и изреженных древостоях. выявлены связи основных таксационных показателей насаждений в связи с рубками ухода. Впервые для высокопродуктивных сосновых древостоев БССР разработана лесоводственно-экономическая модель рубок ухода за лесом, которая обеспечивает максимальный доход от использования стволовой древесины за весь период лесовыращивания, включая главную рубку, и определяет программы изреживания.

Практическая ценность работы. Оптимальная модель рубок ухода и составленная по ней программа решения задачи на ЭВМ "Минск-22" может быть использована при лесоустройстве для проектирования оптимальных рубок ухода в высокопродуктивных сосновых древостоях Белорусской ССР.

Апробация. Результаты исследований доложены на конференции молодых ученых ЛитСХА (1976) и научно-технической конференции по вопросам организации многоцелевого лесопользования в условиях интенсивного лесного хозяйства (Каунас, 1976).

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложений. Список использованной литературы содержит 283 наименования, из них 45 на иностранных языках. Объем диссертации - 178 стр. машинописного текста, включающе-

го 20 таблиц. Приложения представлены на 22 страницах. Работа иллюстрирована 3 рисунками.

Состояние вопроса. В последние десятилетия вопросами рубок ухода за лесом занимались многие исследователи (Нестеров, 1951, 1961; Костюкевич, Бойко, 1956; Георгиевский, 1957; Тимофеев, 1957, 1974; Кайрякштис, 1959, 1969; Воропанов, 1960; Кркевич, 1960; Дерябин, 1964, 1972; Жилкин, 1965, 1970; Атрохин, 1967, 1973; Изюмский, 1969, 1974; Сеннов, 1969, 1973; Лосицкий, 1970; Матузанис, Тауриньш, 1970, 1972; Давыдов, 1971; Кожевников, 1971, 1974; Моисеенко, 1973; Антанайтис, 1974; *Assmann*, 1964, 1971; *Abrahamson*, 1966; *Etela*, 1966; *Carbonnier*, 1967; *Fries*, 1969; *Solyms*, 1969; *Uokila*, 1971; *Fanz*, 1971, 1972 и др.). Однако в литературе почти отсутствуют сведения о том, как влияют погодные условия на прирост насаждений, подвергнутых рубкам ухода. Одним из недостаточно изученных является вопрос о влиянии рубок ухода на закономерности в строении древостоев по различным таксационным признакам; исследовалось, в основном, строение изреженных древостоев по ступеням толщины (Никитин, 1966; Соколов, 1972; Гвоздев, Григорьев, 1977).

Накопленный наукой и практикой материал по росту изреженных насаждений позволил совершенствовать нормативы интенсивности рубок ухода за лесом путем создания математических моделей и типовых программы (Тауриньш, 1969; Сеннов, 1970, 1977; Бугаев, Золотарев, 1971; Иевинь, Матузанис, 1971; Лисенков, 1971; Синькевич, Клинов, 1972; Чибисов, 1972; Нильсон, 1973; Антанайтис, 1975; Кайрякштис, Модвалькис, 1975; *Fries*, 1968; *Arantseg*, 1969; *Fredriksson*, 1969; *Uokila*, 1971 и др.). При этом, мно-

где советские и зарубежные лесоводы (Нестеров, 1963, 1967, 1970; Атрохин, 1967; Анучин, 1969; Никитин, Швиденко, 1972; Степин, 1975; *Plaines*, 1967; *Noel*, 1968; *Ruppel*, 1974 и др.) доказывают необходимость шире использовать в лесной науке и практике методы оптимизации.

Как показали исследования, оптимальный режим изреживания древостоя должен обеспечивать экстремум показателя экономической эффективности (Иевинь, Матузанис, 1971; Волков, Дудин, 1972; *Abrahamson*, 1966; *Andersson*, 1961; *Find*, 1971; *Amidon*, *Akin*, 1968; *Kilki*, *Caisanets*, 1969; *Schreuder*, 1971). Этот принцип и был положен в основу лесоводственно-экономической модели рубок ухода за лесом, разработанной для сосняков БССР.

Методика исследований. Для решения поставленной задачи были использованы данные 61 постоянной пробной площади по рубкам ухода, заложенной отделом лесоводства БелНИИЛХ в чистых сосновых насаждениях I класса бонитета (сосняк мшистый, по типологии И.Д.Кривича, 1969), где в течение 8-12 лет ежегодно определялся текущий прирост запаов древостоев (Кожевников, 1967). Кроме того, было заложено дополнительно 47 временных пробных площадей в аналогичных древостоях, где рубки ухода разной интенсивности были проведены 5 лет назад (табл.1). Заложка временных пробных площадей была произведена по общепринятой методике (ГОСТ 16128-70). На каждой пробной площади производился сплошной пересчет деревьев по 1-2 см ступеням толщины и замер 100 высот. Для определения текущего прироста запаса древостоя у 70-100 деревьев на пробе методом случайной выборки приростным буровом Пресслера брались

Таблица I  
Распределение пробных площадей по группам  
возраста и классам полноты

| Полно-<br>та | В о з р а с т |    |    |    |    |    |    |
|--------------|---------------|----|----|----|----|----|----|
|              | 10            | 15 | 20 | 25 | 30 | 50 | 65 |
| 0,6          | -             | 2  | 2  | 6  | 2  | 3  | 6  |
| 0,7          | I             | 5  | 4  | I  | 4  | 2  | I  |
| 0,8          | 2             | 3  | I  | 4  | II | 8  | 2  |
| 0,9          | 2             | 6  | I  | 2  | 2  | -  | 6  |
| I,0          | I             | 6  | 9  | I  | I  | 3  | -  |

образцы древесины для измерения радиального прироста. Из числа наиболее развитых деревьев подбирались 2-3 модели для полного анализа хода роста с целью проверки принадлежности пробных площадей одному естественному ряду.

Основные таксационные показатели временных пробных площадей вычислялись общепринятым способом. Текущий прирост запаса наличного древостоя определялся по формуле.  $Z_M = Z_G \cdot H^F + G \cdot Z_{HF}$ , где  $G$ ,  $H$ ,  $F$  - показатели древостоя  $n$  лет назад,  $Z_G$ ,  $Z_{HF}$  - текущий прирост соответствующих показателей за  $n$  лет. Величину  $H$  устанавливали по графику высот, для отыскания  $F$  и  $Z_{HF}$  использовали материалы постоянных пробных площадей. Для определения  $Z_G$  значения текущего прироста площадей сечений, вычисленные у 70-100 деревьев на пробе, выравнивались в зависимости от диаметра по уравнению параболы 2-го порядка и пересчитывались на всю пробную площадь, используя пересчет.

Точность определения текущего прироста запаса древостоя на постоянных пробных площадях составила 4-5%, на временных - в среднем 6-7%.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Влияние погодных условий на прирост высокополнотных и разреженных древостоев. Из всех климатических факторов, влияющих на годовичную изменчивость прироста древесины в рассматриваемой лесорастительной зоне, определяющими являются осадки и температура окружающей среды (Молчанов, 1961, 1970, 1976; Вихров, 1962; Гуняженко, 1963; Костюкевич, 1972; Битвинская, 1974). Для характеристики климатических факторов за 1961-1971 годы были вычислены суммы осадков и средние температуры за различные периоды года, а также комплексные климатические показатели Т.Т.Битвинская (1974).

Установлено, что прирост запаса одновозрастных сосновых древостоев в каждый конкретный год зависит от полноты, а от года к году в одних и тех же насаждениях он изменяется, повторяя колебания погодных условий. В молодых осняках, пройденных рубками ухода, во все годы наблюдался прирост больший, чем на контроле. Исключение составил самый влажный и теплый 1967 год. Так как в Белорусском Полесье число лет с пониженным количеством осадков за вегетационный период составляет 7-8 из 10 (Шкляр, 1962), то ясно, как важно регулярно проводить рубки ухода в молодых основных древостоях для повышения их производительности. В средневозрастных и приспевающих древостоях также наблюдался повышенный прирост во влажные годы и пониженный в более сухие, при этом больший прирост имели не пройденные уходом насаждения.

Изменчивость годовичного текущего прироста, вызванная колебаниями погоды, при прочих равных условиях значительно

выше вариации, вызванной различной полнотой древостоев, явившейся следствием рубок ухода разной интенсивности. Исключение составляли насаждения в возрасте проходной рубки (60-65 лет), когда, с одной стороны, сильное изреживание значительно снижает текущий прирост и, следовательно, увеличивает коэффициент вариации, связанный с изменением полноты древостоя, а с другой — с возрастом ослабевает способность насаждений адаптироваться к изменяющимся условиям среды. Во всех древостоях рубки ухода до полноты 0,6-0,8 уменьшили коэффициент вариации годового текущего прироста, вызванный различными погодными условиями, в среднем на 22% по сравнению с контролем.

Наиболее тесная линейная связь годового прироста запаса древостоев обнаружена с осадками за вегетационный год ( $r = 0,67 \pm 0,17$ ). Значительно слабее прирост связан с температурой, и ее влияние наиболее существенно в первой половине вегетации.

Закономерности в строении высокополнотных и пройденных рубками ухода древостоев. Влияние рубок ухода разной интенсивности на таксационное строение древостоев по различным показателям изучено на примере 27-36-летних сосновых культур. Были обработаны вариационные ряды, построенные по данным пробных площадей на I-й, 5-й и 10-й год после проведения рубок ухода. Указанный возраст был выбран потому, что рядом исследований (Кайрюкшти, 1969; Изимский, 1970; Кожанников, 1971; Успенский, 1972; Моисеенко, 1973; Тимофеев, 1973; Parde, 1964; Erteld, 1966; Wiksten, 1966; Puchalski, 1974 и др.) установлено, что именно в этом возрасте древос-

той наиболее сильно реагируют на изреживание, и в них рекомендуются наиболее интенсивные рубки ухода.

Установлено, что с увеличением интенсивности изреживания от очень слабого до сильного коэффициент вариации стволов по диаметру уменьшается в среднем на 30%. Это согласуется с выводами К.Е.Никитина (1966), С.В.Соколова (1972), А.М.Коженилова (1974).

Анализ коэффициентов асимметрии показал, что высокополнотные древостой в рассматриваемом возрасте имеют значительную положительную асимметрию и сохраняют ее в последующие 10 лет. Насаждения, изреженные до полноты 0,6-0,7, характеризуются несущественно отличным от нуля коэффициентом асимметрии. Связь же показателя экоцесса с интенсивностью изреживания не установлена. В рассматриваемых древостоях характер распределения стволов по ступеням толщины хорошо передается кривой Шарлье, хотя в древостоях, изреженных до полноты 0,6-0,7, распределение деревьев может быть аппроксимировано кривой Гаусса. Ряды распределения относительного числа деревьев по естественным ступеням толщины, полученные в 1-й, 5-й и 10-й год после проведения рубок ухода, существенно не отличаются между собой. Поэтому в табл. 2 приведены средние значения.

Наименее разработанным является вопрос о строении древостоев по величине текущего прироста (Григальнас, 1967; Патакас, 1967; Антанайтис, 1969; Хария, 1973; Швиденко, 1975). Выяснилось, что по мере увеличения интенсивности изреживания коэффициенты вариации текущего прироста стволов по диаметру ( $Z_d$ ) и площади сечения ( $Z_p$ ), вычисленные на 1-й и 5-й год после рубок ухода, закономерно уменьшаются. При изрежи-

Таблица 2

Распределение относительного числа деревьев по естественным ступеням толщины в высокополнотных и изреженных 27-36-летних сосновых древостоях

| Полнота | Естественные ступени |            |              |              |              |            |            |            |
|---------|----------------------|------------|--------------|--------------|--------------|------------|------------|------------|
|         | 0,3                  | 0,5        | 0,7          | 0,9          | 1,1          | 1,3        | 1,5        | 1,7        |
|         | 0,4                  | 0,6        | 0,8          | 1,0          | 1,2          | 1,4        | 1,6        | 1,8        |
| 0,9-1,0 | 2,1<br>3,9           | 6,0<br>8,3 | 10,0<br>11,2 | 11,3<br>10,7 | 9,7<br>8,3   | 6,4<br>4,9 | 3,5<br>2,2 | 1,1<br>0,4 |
| 0,6-0,7 | 0,6<br>1,2           | 3,2<br>5,8 | 8,4<br>11,8  | 14,2<br>15,0 | 13,9<br>11,3 | 7,7<br>4,6 | 2,3<br>-   | -          |

вани до полноты 0,6-0,7 показатели изменчивости уменьшаются на 30-35% по сравнению с контролем. Коэффициенты вариации, вычисленные на 10-й год после ухода, не обнаруживают достоверной связи с интенсивностью изреживания. Коэффициенты асимметрии рассматриваемых рядов при изреживании до полноты 0,6-0,7 уменьшаются в среднем на 50-60%.

Анализ рядов распределения стволов по  $Z_\alpha$  и  $Z_\rho$  показал, что в изучаемых высокополнотных древостоях большинство деревьев концентрируется в низших ступенях рассматриваемых показателей прироста, и соответствующие распределения передаются  $f$ -образной кривой Пирсона I типа. Интенсивные рубки ухода значительно сужают размах распределения, а ряды могут быть описаны кривыми обобщенного нормального распределения.

Изучение закономерностей в строении молодых сосновых культур по  $Z_\alpha$  и  $Z_\rho$  в пределах ступеней толщины выявило следующее.

Коэффициенты вариации  $Z_\alpha$  и  $Z_\rho$  уменьшаются с увеличением диаметров. Связь здесь значительная,  $r = 0,8 \pm 0,05$ . Такую же тенденцию отмечают М.Л. Дворецкий (1964), И.А. Нахабцев (1975).

Сравнение коэффициентов вариации  $Z\alpha$  и  $Zg$  в пределах одинаковых ступеней толщины в высокополнотных и интенсивно изреженных древостоях выявило их существенное различие лишь в 2-3-х низших ступенях толщины, где рубки ухода снизили изменчивость показателей прироста. Коэффициенты асимметрии рассматриваемых рядов, как правило, несущественно отличаются от нуля. Исключение составляет лишь низшие ступени толщины, для которых характерна значительная положительная асимметрия и положительный эксцесс. Установлено, что, начиная с естественных ступеней 0,7-0,8 для  $Z\alpha$  и 0,8-0,9 для  $Zg$ , в 27-36-летних основных культурах распределение стволов по соответствующим показателям прироста подчиняется закону нормального распределения.

Исследования показали, что теснота связи между диаметром  $Z\alpha$ , диаметром  $Zg$  в молодых сосняках, пройденных рубками ухода разной интенсивности, колеблется от 0,60 до 0,84 для  $Z\alpha$  и от 0,67 до 0,89 для  $Zg$ , при этом с увеличением интенсивности изреживания рассматриваемые связи явно ослабевают.

Показатели  $Z\alpha$  и  $Zg$  отдельного дерева - величины, которые сильнее других реагируют на изреживание. Сравнение по  $t$ -критерию Стьюдента средних значений годовичных  $Z\alpha$  и  $Zg$ , вычисленных в пределах ступеней толщины на I-й, 5-й и 10-й год после ухода, выявило достоверное различие рассматриваемых показателей контрольных и изреженных древостоев лишь на I-й и 5-й годы, наибольшая разница наблюдалась в I-й год после ухода. На 10-й год прирост деревьев одинаковых ступеней толщины в высокополнотных и изреженных древостоях существенно не отличался.

Наиболее сильно реагируют на изреживание стволы низших ступеней толщины, прирост которых в I-й год возрастает в среднем на 50-100% по сравнению с контролем, а на 5-й год - на 25-30%. Высшие ступени увеличивают текущий прирост в I-й год в среднем на 30-35% и на 5-й год - на 5-10% по сравнению с контролем.

Взаимосвязи таксационных показателей сосновых древостоев в связи с рубками ухода. Рядом авторов (Антанайтис, Загреев, 1969; Матузанис, Тауринш, 1971; *Schinzel*, 1966; *Ulbricht*, 1969 и др.) установлено, что связь текущего прироста запаса древостоев ( $Z_M$ ) с суммой площадей сечений ( $G$ ) или полнотой хорошо передается уравнением параболы 2-го порядка:  $Z_M = a + bG + cG^2(I)$ . Поэтому для каждого возраста значения  $Z_M$  были выравнены в зависимости от  $G$  по уравнениям типа (I), а затем параметры  $a$ ,  $b$ ,  $c$  полученных уравнений были выравнены аналитически также по уравнениям параболы 2-го порядка в зависимости от возраста ( $A$ ). В результате было получено уравнение регрессии, характеризующее связь текущего прироста с суммой площадей сечений и возрастом:

$$Z_M = 1,0865 - 0,0575A + 1,3500G - 0,02068AG + 0,0013889A^2 - \\ - 0,02934G^2 + 0,0006199AG^2 + 0,0000492A^2G - 0,00000296A^2G^2 \\ (2)$$

Уравнение (2) справедливо для рассматриваемых древостоев в возрасте от 15 до 80 лет. Его среднеквадратическая ошибка составила  $\pm 0,65$ .

Анализ ряда регрессионных моделей показал, что изменение сумм площадей сечений нормальных древостоев с возрастом

лучше других передает зависимость вида  $Y = ax^b + C$ . Фактические значения параметров  $a$ ,  $b$ ,  $c$  этого уравнения оказались соответственно равными 61,7571; 0,121101; 60,1670 (индекс корреляции  $r = 0,97 \pm 0,01$ ).

Используя уравнение (2), были вычислены оптимальная и критическая (по Аосману) суммы площадей сечений и соответствующие относительные полноты (табл. 3).

Таблица 3

Максимальные, оптимальные и критические суммы площадей сечений высокопродуктивных сосновых древостоев Белоруссии

| Возраст, лет | Максимальная сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> /га | Оптимальная сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> /га | Оптимальная полнота | Критическая сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> /га | Критическая полнота |
|--------------|---|--|---------------------|--|---------------------|
| 15           | 25,6  | 25,5   | 0,99                | 19,7   | 0,77                |
| 20           | 28,6  | 26,5   | 0,92                | 20,5   | 0,71                |
| 25           | 31,0  | 27,7   | 0,89                | 21,4   | 0,68                |
| 30           | 33,1  | 29,0   | 0,87                | 22,4   | 0,67                |
| 35           | 34,8  | 30,7   | 0,88                | 23,6   | 0,67                |
| 40           | 36,4  | 32,6   | 0,89                | 25,0   | 0,68                |
| 45           | 37,8  | 35,5   | 0,93                | 26,4   | 0,69                |
| 50           | 39,0  | 38,6   | 0,98                | 29,1   | 0,74                |
| 55           | 40,2  | 40,2   | 1,00                | 32,1   | 0,79                |
| 60           | 41,2  | 41,2   | 1,00                | 34,8   | 0,84                |
| 65           | 42,2  | 42,2   | 1,00                | 37,1   | 0,87                |
| 70           | 43,1  | 43,1   | 1,00                | 38,9   | 0,90                |
| 75           | 44,0  | 44,0   | 1,00                | 40,3   | 0,91                |
| 80           | 44,8  | 44,8   | 1,00                | 41,4   | 0,92                |

Уровень интенсивности изреживания в значительной мере определяет величины ожидаемых после рубок ухода таксационных показателей. Корреляционный анализ запасов оставляемой сразу после ухода части древостоев ( $M_A$ ) и через 5 лет после него ( $M_{A+5}$ ) подтвердил вывод Н.К.Тауриньша (1969) для березовых древостоев о том, что между рассматриваемыми показателями существует очень тесная линейная связь, коэффициент корреляции  $r = 0,998 \pm 0,002$ . Выравнив параметр "а" по уравнению прямой ( $r = -0,989 \pm 0,009$ ), а параметр "b" по уравнению гиперболы ( $r = 0,990 \pm 0,004$ ), получили следующую зависимость

$$M_{A+5} = 60,68 - 0,5703A + (1,028 + \frac{1,538}{A})M_A, \quad (3)$$

где  $M_A$  - запас древостоя после изреживания;

$M_{A+5}$  - запас древостоя через 5 лет после ухода.

Чтобы выяснить, как изменяется средний диаметр древостоя за 5 лет после ухода ( $D_{A+5}$ ) в зависимости от среднего диаметра древостоя до ухода ( $D_A$ ) и интенсивности изреживания ( $\mathcal{I}, \mathcal{X}$ ), вычислены коэффициенты парной, частной и множественной корреляции и соответствующие уравнения регрессии. Анализ их показал, что в уравнение множественной регрессии должны быть включены оба фактора в первой степени ( $R = 0,983 \pm 0,006$ ).

$$D_{A+5} = 0,29 + 1,106D_A + 0,057\mathcal{I} \quad (4)$$

Аналогично исследовано влияние интенсивности изреживания и среднего диаметра древостоя на величину среднего диаметра выбираемой части ( $D_{\text{выб.}}$ ). Уравнение

$$D_{\text{выб.}} = 3,48 + 0,812D + 0,108\mathcal{I} \quad (5)$$

( $R = 0,958 \pm 0,015$ ) позволяет определять наиболее вероятные значения среднего диаметра выбираемой части древостоя в зави-

симости от включенных в него факторов при проведении рубок ухода по комбинированному методу с уклоном к низовому.

Оптимальная модель рубок ухода в высокопродуктивных сосновых насаждениях Белорусской ССР. В основу наших исследований положены работы В.Г.Нестерова (1970, 1971), впервые в Советском Союзе применившего метод динамического программирования при оптимизации рубок ухода.

В лесозаконономической литературе в настоящее время не существует общепринятого критерия эффективности рубки ухода за лесом (Костюкович, 1960; Джикович, Полянский, 1960; Воронин, 1972; Моисеев, 1972; Янушко, 1972 и др.), а также единого способа учета фактора времени при сравнении различных вариантов лесохозяйственных мероприятий (Моисеев, 1972; Митин, Саркисов, 1974; Волков, Дудин, 1975; Румянцев, 1975; Цмек, 1975 и др.).

Оптимальный вариант рубок ухода за лесом может быть установлен, исходя из получения максимального дохода от насаждения за весь период проведения рубок ухода и главной рубки с учетом фактора времени по формуле сложных процентов, при этом, цена древесины от рубок главного и промежуточного пользования должна быть выражена с помощью единого преискуранта:

$$Z = \sum_{i=1}^{N-1} (C_i - C_i) V_i + (C_T - C_T) V_T \rightarrow \max, \quad (6)$$

где  $C_T, C_T, C_i, C_i$  - цена древесины и себестоимость ее заготовки при главной рубке и на  $i$ -м приеме ухода;

$V_T, V_i$  - коэффициенты приведения разновременных затрат  $r$  и доходов к начальному или конечному моменту времени.

Если в качестве неизвестной величины принять размер выби-

раемого запаса стволовой древесины ( $Y_i$ ) в возрасте  $A_i$ , то максимум целевой функции может быть найден при условии, что

$$M_i - Y_i \geq M_i^{\text{крит}}, \quad (7)$$

где  $M_i$  - запас насаждения перед очередным  $i$ -м приемом изреживания в возрасте  $A_i$ ;

$M_i^{\text{крит}}$  - критический запас стволовой древесины в возрасте  $A_i$ .

Неравенство (7) означает, что в древостое не допускается снижение прироста запаса более чем на 5% по сравнению с максимально возможной величиной.

Рубки ухода за лесом - это периодическое изреживание древостоя, который должен быть срублен в возрасте главной рубки ( $T$ ). Процесс ухода состоит из  $N$  этапов изреживания.

Уравнения процесса, характеризующие изменения таксационных показателей от этапа к этапу, имеют вид:

$$D_i = f_1 (D_{i+1}, Y_i), \quad (8)$$

$$M_i = f_2 (M_{i+1}, Y_i), \quad (9)$$

если в самом начале  $N$ -шагового процесса изреживания древостой характеризуется средним диаметром  $D_{N+1}$  и запасом  $M_{N+1}$ , а в конце, перед главной рубкой -  $D_T, M_T$ .

Решение задачи динамического программирования дает принцип оптимальности (Беллман, 1960), который в данном случае принимает вид следующей системы функциональных уравнений:

$$f_n(D_{n+1}; M_{n+1}) = \max_{Y_n \leq M_n M_n^{\text{крит}}} \left\{ [C_n(D_{n+1}, M_{n+1}; Y_n) - C_n(D_{n+1}, M_{n+1}; Y_n)] \times B_n + f_{n-1}(D_n, M_n) \right\} \quad (10)$$

$$n = 1, 2, \dots, N,$$

где  $D_n$  и  $D_{n+1}$  связаны уравнением (8), а  $M_n$  и  $M_{n+1}$  - уравнением (9),

$$[C_n(D_{n+1}, M_{n+1}; Y_n) - C_n(D_{n+1}, M_{n+1}; Y_n)] \times B_n - \text{чистый}$$

доход от древесины, заготовленной на  $n$ -м шаге ухода;  
 $f_{n-1}(D_n, M_n)$  — максимум целевой функции (6) для  $(n-1)$ -  
 шагового подпроцесса, т.е.

$$f_{n-1}(D_n, M_n) = \max \sum_{i=1}^{n-1} (C_i - C_i) V_i;$$

по определению  $f_0(D_1, M_1) = 0$ .

Таким образом, отыскание оптимальной интенсивности изреживания  $U_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) сводится к решению функционального уравнения (10), начиная с  $f_0 = 0$ , для  $i = 1, 2, \dots, N$ .

Стоимость 1 м<sup>3</sup> древесины, вырубаемой при рубках ухода в главном пользовании, была оценена по прейскуранту 07-02. В условиях Белорусской ССР был принят 2-й разряд цен и II пояс. Значения цен за 1 плотный м<sup>3</sup> древесины сосны были выравнены в зависимости от среднего диаметра выбираемой части (с точностью 1%). Значения себестоимости заготовки 1 м<sup>3</sup> древесины, вычисленные А.М.Кожанниковым и Н.Ф.Давыдович (1973), также были выравнены в зависимости от среднего диаметра выбираемой части ( $p = 5\%$ ). В результате целевая функция (6) была представлена в виде:

$$Z = \sum_{i=1}^N \left[ 0,492 + 2,310 \ln D_i^{\text{выб}} - 5,792 \exp(-0,063567 D_i^{\text{выб}}) \right] \cdot U_i \cdot V_i,$$

где  $D_i^{\text{выб}}$  — средний диаметр выбираемой части древостоя на  $i$ -м приеме рубок ухода ( $i = 1$  соответствует главной рубке), см, в возрасте  $A$ ;

$U_i$  — выбираемый на  $i$ -м приеме ухода запас стволовой древесины, м<sup>3</sup>/га;

$V_i$  — коэффициент дисконтирования, вычисляемый по формуле  
 $V_i = (1 + \text{Ен.п.})^{T-A_i}$ ; Ен.п. = 0,03;

$T$  — возраст оборота рубки.

Зависимость среднего диаметра выбираемой части древостоя ( $D_i^{\text{выб}}$ ) от среднего диаметра  $D_i$  в момент изреживания и интен-

сивности рубок ухода ( $\frac{Y}{M_t}$ ) дает уравнение (5). Уравнения (3), (4) представляют собой уравнения процесса (8), (9).

Для сформулированной задачи в соответствии с общей схемой вычислительного процесса (Баллман, Дрейфуо, 1965) был разработан алгоритм и рабочая программа для ЭВМ "Минск-22М" на входном языке автокода "Инженер" (АКИ).

Модель и программа вычислений предусматривают определение оптимальной интенсивности изреживания (по запасу,  $\text{м}^3/\text{га}$ ) в основных древостоях I класса бонитета в возрасте  $A_{\text{нач.}}$ ,  $A_{\text{нач.}}+5, \dots, T$  (оборот рубки), если в данный момент, в возрасте  $A_{\text{нач.}}$  рассматриваемый древостой имеет средний диаметр  $D_{\text{нач.}}$  (см) и запас стволовой древесины  $M_{\text{нач.}}$  ( $\text{м}^3/\text{га}$ ).

Были определены оптимальные интенсивности рубок ухода для древостоев, имеющих в возрасте 15 лет запасы 100 и 80  $\text{м}^3/\text{га}$ , с нормативом приведения Ен.п. = 0,03. Оказалось, что запасы древостоев на момент главной рубки в этих вариантах почти совпадают: 537 и 542  $\text{м}^3/\text{га}$ . Эти значения близки к запасам основных насаждений Белорусской ССР (Багнянский, 1973). Суммарное промежуточное пользование составило соответственно 310 и 280  $\text{м}^3/\text{га}$ . По таблицам В.И.Рубцова (1969) суммарное промежуточное пользование в 80 лет насчитывает 283  $\text{м}^3$ , следовательно, рекомендуемая модель интенсивность изреживания должна способствовать своевременному превращению естественного отпада, не превышая его в сумме более чем на 10%.

Вычисленные по модели величины выбираемого запаса с интервалом в 5 лет были сгруппированы по десятилетиям (табл.4).

Как видно из табл. 4, наиболее интенсивное изреживание

Таблица 4

Программы рубок ухода в высокопродуктивных основных  
древостоях в зависимости от первоначального запаса  
в 15 лет (Ен.п. = 0,03)

| Запас в 15<br>лет, м <sup>3</sup> /га | Выбираемый запас (м <sup>3</sup> /га) в возрасте, лет |    |    |    |    |    |
|---------------------------------------|---|----|----|----|----|----|
|                                       | 20  | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| 100                                   | 60  | 80 | 46 | 25 | 65 | 35 |
| 60                                    | 35  | 80 | 50 | 30 | 55 | 30 |

модель рекомендует в возрасте 20-30 лет, затем интенсивность ухода падает. Ни в одном из просчитанных вариантов модель не рекомендует проводить рубки ухода в 15 лет, что объясняется их наибольшей убыточностью в этом возрасте. А если учесть, что в 15 лет оптимальная с точки зрения прироста полнота близка к 1,0 (табл. 3), то ясно, что отсутствие ухода в чистых сосняках в этом возрасте не нанесет древостоем значительного лесоводственного ущерба.

Модель определяет динамику запаса стволовой древесины и среднего диаметра древостоя, а также средний диаметр выбираемой части. В изрезаемых по модели древостоях средний диаметр в 70 лет превосходит диаметр соответствующих нормальных насаждений на 8-9 см, что хорошо согласуется с результатами ряда авторов (Дьякин, 1941; Загребев, 1963; Кожеников, 1974; Сеннов, 1974).

В табл. 5 приведены критические и оптимальные (по модели) запасы стволовой древесины. Последние в возрасте 20 и 55-80 лет совпадают с соответствующими критическими значениями, а в 25-60 лет значительно превосходят их.

Таблица 5

Оптимальные и критические запасы древесины  
в высокопродуктивных сосновых насаждениях  
Белоруссия

| Возраст, лет                           | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  | 70  |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Оптимальные запасы, м <sup>3</sup> /га | 109 | 160 | 260 | 300 | 345 | 415 |
| Критические запасы, м <sup>3</sup> /га | 109 | 152 | 199 | 263 | 345 | 415 |

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что используемые в модели связи различных таксационных показателей адекватно отражают реальные процессы роста древостоев, а целевая функция и ограничения задачи обеспечивают единство и взаимосвязь лесоводственных и экономических требований.

#### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Сосновые древостои, пройденные рубками ухода разной интенсивности, сходным образом реагируют на изменение погодных условий, а вариация текущего прироста запаса, вызванная колебаниями погоды, при прочих равных условиях значительно выше вариация, вызванной различной интенсивностью изреживания, в молодых и средневозрастных древостоях. Наиболее тесная линейная связь годовичного текущего прироста запаса обнаружена в осадках за сентябрь предыдущего - август нынешнего года.

2. Интенсивное изреживание молодых сосновых культур приводит к закономерному уменьшению изменчивости в среднем на 30% и асимметрии рядов распределения стволов и сумм площадей

сечений по ступеням толщины. Указанные распределения хорошо передаются кривой Гаусса.

3. Интенсивные рубки ухода в молодых основных культурах снижают вариацию текущего прироста диаметра и текущего прироста площади сечений в первые пять лет после изреживания в среднем на 30%, а коэффициент асимметрии — почти в 2 раза. Соответствующие ряды распределения могут быть аппроксимированы с помощью кривых Шарлье. В высокополнотных сосняках стволы распределяются по величинам  $Z_{\alpha}$  и  $Z_{\beta}$  по  $f$  — образной кривой Пирсона I типа.

Коэффициенты вариации  $Z_{\alpha}$  и  $Z_{\beta}$ , вычисленные в пределах ступеней толщины, уменьшаются с возрастанием диаметра. За исключением самых низших ступеней толщины, стволы распределяются по величинам  $Z_{\alpha}$  и  $Z_{\beta}$  в пределах ступеней толщины по закону Гаусса.

4. Наиболее сильно реагируют на изреживание стволы низких ступеней толщины, прирост которых по диаметру и площади сечения возрастает в I-й год в среднем в 60–100% по сравнению с контролем, на 5-й год после ухода — на 25–30%. Деревья вышних ступеней толщины увеличивают текущий прирост в первый год на 30–36%, на пятый год — на 5–10%. На 10-й год после рубки ухода прирост деревьев одинаковых ступеней толщины в высокополнотных и пройденных, а также в рубках ухода древостоях существенно не отличается.

5. Лесоводственно-экономическая модель рубок ухода, разработанная методом динамического программирования для высокопродуктивных основных древостоев Белорусской ССР, обеспечивая максимальный чистый доход (при использовании только отволоковой

древесины) за весь период выращивания леса, включая главную рубку, определяет программы рубок ухода в зависимости от возраста, среднего диаметра и запаса древостоя. При этом рубки ухода опережают текущий естественный отпад в среднем на 10 лет, а суммарное промежуточное пользование не превышает 1/3 суммы естественного отпада.

Программа, реализующая алгоритм оптимизации рубок ухода методом динамического программирования на ЭВМ "Минск-22", может быть использована для проектирования рубок ухода в высокопродуктивных сосновых древостоях при лесоустройстве. Исключительная гибкость метода динамического программирования и то обстоятельство, что программа для ЭВМ составлена на алгоритмическом языке, в будущем, по мере накопления новых фактов, позволят совершенствовать модель.

По материалам диссертации опубликованы следующие работы:

1. О точности учета текущего прироста фитомассы сосновых молодняков (соавторы А.М.Кожвинников, В.М.Ефименко) - "Лесохозяйственная наука и практика", вып. 25, Минск, "Ураджай", 1975, с. 29-34.

2. Влияние взращивания сосновых насаждений на текущий прирост. (соавтор А.М.Кожвинников) - "Лесохозяйственная наука и практика". Вып. 25, Минск, "Ураджай", 1975, с. 37-40.

3. Влияние рубок ухода на прирост сосновых культур. - "Лесохозяйственная информация ЦНТИ Гослесхоза СССР", 1976, № 13, с. 11-12.

4. Оптимизация рубок ухода в сосновых насаждениях Бело-

русской ССР. - "Лесохозяйственная информация ЦБНТИ Гослесхоза СССР", 1976, № 22, с. 16-18.

5. Нормативы лесоводственного эффекта рубок ухода за лесом (соавтор А.М.Кожевников) - "Тезисы докладов научно-технической конференции по вопросам многоцелевого лесопользования в условиях интенсивного лесного хозяйства, состоявшейся в г.Каунасе 17-18 декабря 1976г.", с.43-47.

6. Экономико-математическая модель рубок ухода за лесом.- "Тезисы докладов научно-технической конференции по вопросам организации многоцелевого лесопользования в условиях интенсивного лесного хозяйства", состоявшейся в г.Каунасе 17-18 декабря 1976г.", с. 98-100.

7. Анализ решения задачи оптимизации рубок ухода за лесом методом динамического программирования. - "Сборник научных трудов" (книга 2). ЛитСХА, Каунас - Норейкишкес, 1976, с.269.

Терехова Рита Львовна

**ВЛИЯНИЕ ИЗРЕЛИВАНИЙ НА РОСТ ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ  
СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ БЕЛОРУССИИ И ОПТИМАЛЬНАЯ  
МОДЕЛЬ РУБОК УХОДА В НИХ**

Редактор Е. И. Скоробогатая. Корректор И. В. Старовойтова.

Подписано к печати 2.9.1977г. Формат 60x84/16. Тираж 100 экз.

Усл. печ. л. 1, 0. Уч.-изд. л. 1, 1. Заказ 561. Бесплатно.

Отпечатано на ротапринте БТИ им. С. М. Кирова

Минск, Свердлова, 13.