

630*

С 28

Белорусский государственный технологический
университет

УДК 630*566:624

СЕВКО
ОКСАНА АЛЕКСАНДРОВНА

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
ЕСТЕСТВЕННЫХ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ
В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ

06.03.02. Лесоустройство и лесная таксация

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Минск 1996

Работа выполнена на кафедре лесоустройства Белорусского государственного технологического университета

Научный руководитель - доктор сельскохозяйственных наук,
профессор
О. А. АТРОШЕНКО

Официальные оппоненты - доктор сельскохозяйственных наук,
профессор
А. М. КОЖЕВНИКОВ;
кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент
В. П. ГРИГОРЬЕВ


Оплонирующая организация - Министерство лесного хозяйства
Республики Беларусь

Защита диссертации состоится " 23 " января 1996 г. в 10.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.05 в Белорусском государственном технологическом университете по адресу: 220630, Беларусь, г. Минск, ул. Свердлова, 13а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке БГТУ.

Автореферат составлен " _____ " _____ 199__ г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций
кандидат биологических
наук, доцент



А. И. Блинцов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Концепция непрерывного и неистощительного лесопользования является основой рационального использования лесных ресурсов. Выполнение этого принципа требует осуществления комплекса мероприятий по оптимизации размера главного и промежуточного лесопользования. Оптимизация промежуточного лесопользования предусматривает создание программ формирования древостоев, учитывающих не только различные варианты режимов рубок ухода, но и возможность варьирования оборота рубки с учетом размерно-качественной характеристики древесины, что позволяет более обоснованно выбирать оптимальные варианты рубок ухода для отдельного насаждения в различных условиях произрастания.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Диссертационная работа является частью Республиканской комплексной научно-технической программы 33-01 РД "Древесные ресурсы", тема ГВ 29-91 "Разработать технические задания, систему моделей и нормативов, базы данных, структуру информации по лесному фонду на основе новой технологии непрерывного лесоустройства" (N гос. регистрации 01010008669).

Цель и задачи исследования. Целью исследования явилась разработка лесотаксационных моделей оптимальной производительности сосновых древостоев при различных режимах рубок ухода. В практическом плане предусматривалось - составить таксационные программы формирования чистых сосновых древостоев естественного происхождения максимальной производительности по классам бонитета и типам леса. Для решения поставленных задач требовалось: 1) выполнить планирование и сбор экспериментального материала; 2) провести математико-статистический анализ экспериментальных данных; 3) разработать алгоритмы, математические модели и программы на ЭВМ для моделирования роста сосновых древостоев; 4) разработать модель оптимальной производительности сосновых древостоев; 5) представить таксационные программы формирования сосновых древостоев при различных режимах рубок ухода по классам бонитета и типам леса; 6) определить таксационные программы формирования оптимальной (максимальной) производительности сосновых древостоев; 7) определить экономическую эффективность применения модели формирования оптимальной производительности сосновых древостоев.

Научная новизна полученных результатов. Автором впервые научно обоснованы и выдвинуты следующие положения: 1) алгоритмы, математические модели и программы на ПЭВМ для моделирования хода роста чистых сосновых древостоев естественного происхождения по классам бонитета и типам леса; 2) таблицы роста и производительности полных чистых сосновых древостоев по типам леса и классам бонитета; 3) теоретическая модель оптимальной производительности сосновых древостоев; 4) таксационные программы формирования чистых сосновых насаждений естественного происхождения для различных режимов рубок ухода по классам бонитета и типам леса.

Практическая значимость полученных результатов: Для практического применения разработаны таблицы хода роста чистых сосновых древостоев по типам леса и классам бонитета, которые служат нормативом при таксации сосновых лесов республики, таксационные программы формирования сосновых древостоев рубками ухода различных режимов для Iа - III классов бонитета и по типам леса.

Результаты исследований и разработанные программы формирования древостоев используются: при планировании рубок ухода в чистых сосновых насаждениях; назначении оборота рубки в сосновых древостоях, в соответствии с целью выращивания насаждений максимальной общей производительностью и целевого лесовыращивания.

Результаты исследований внедрены в производство и применяются при лесоустроительном проектировании рубок ухода в ПО "Белгослес" (акт внедрения от 14.08.86.), а также используются в учебном процессе ВГТУ по дисциплине "ЭВМ в лесном хозяйстве и лесоустройстве".

Экономическая значимость полученных результатов заключается: а) повышении прибыли при выращивании оптимальных сосновых древостоев; б) возможности формирования чистых сосновых древостоев оптимальной производительности, имеющих максимальный выход крупной и средней деловой древесины в соответствии с таксационными программами формирования сосновых древостоев по классам бонитета и типам леса; в) в использовании таблиц роста и производительности древостоев для таксации лесов и контроля растущего запаса древостоя; прогнозирования естественного роста древостоев.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- таблицы хода роста чистых сосновых древостоев по классам бо-

нитета и типам леса;

- методика и алгоритм моделирования оптимальной производительности древостоев на ПЭВМ;
- имитационная модель оптимальной производительности древостоев;
- программы формирования сосновых древостоев естественного происхождения оптимальной производительности по типам леса и классам бонитета.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задачи и разработке теоретических и методических положений ее решения. Автором собран и проанализирован экспериментальный материал, разработаны алгоритмы и программы на ПЭВМ, обработаны данные на ПЭВМ, проведено математическое моделирование роста полных сосновых древостоев естественного происхождения, производительности сосняков при различных режимах рубок ухода, переведена иностранная литература на русский язык.

Апробация результатов диссертации. Основные теоретические положения, методика и результаты исследований докладывались и получили положительные оценки на научных конференциях лесохозяйственного факультета БГТУ (1992 - 1996г.), региональной конференции (Гомель, 1994 г.) и международных научно-практических конференциях (Минск, 1995, 1996 г.).

Опубликованность результатов. По материалам диссертации опубликовано 5 печатных работ, в том числе 3 статьи, 2 тезисов.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, списка литературы и приложения. Содержит 133 страницы машинописного текста, в том числе 14 рисунков и 36 таблиц. Список литературы включает 203 наименования, в том числе 36 на иностранном языке. В приложении приведены экспериментальные материалы, программы формирования сосновых древостоев для различных режимов рубок ухода по классам бонитета и типам леса, программы для ПЭВМ.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

СОВРЕМЕННОЕ НАПРАВЛЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ РОСТА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДРЕВОСТОЕВ

Моделирование роста леса рассматривается как небольшой сег-

мент в общей системе управления лесными ресурсами. При этом математическая модель насаждения является как системой, где взаимосвязаны закономерности роста и естественного отпада. Вопросы моделирования хода роста насаждений представлены в работах ученых СНГ: Свалов Н.Н. (1983), Атрощенко О.А. (1980), Загребев В.В. (1978), Антанайтис В.В. (1983), Багинский В.Ф. (1984).

Большое внимание математическим моделям роста древостоев уделяется за рубежом: E. / zman, F. Franz (1967), R. Curtis (1970), G. Wenk (1973), F. Heggi (1973). Проблема формирования древостоев с максимальной производительностью была рассмотрена в работах Кожевникова А.М. (1971, 1973, 1990), Сеннова С.Н. (1987), Атрохина В.Г. (1990), Чункова В.С. (1975), Швиденко А.В., Юдицкого Я.А. (1979). Различного рода программы формирования древостоев были предложены зарубежными авторами: R. Curtis (1970), H. Valiaha (1973), P. Kilkki (1969, 1975), Y. Vuokila (1975, 1980).

Моделирование оптимальной производительности древостоев продолжает оставаться одной из важнейших лесотаксационных задач; особое внимание при построении программ формирования древостоев следует уделять интенсивности и повторяемости рубок ухода; необходим дифференцированный подход к возрасту рубки древостоев; инструментальным средством для решения поставленных задач может служить имитационное моделирование.

ПРОГРАММА, МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Программа исследований предусматривала выполнение следующих этапов: 1) аналитический обзор современных направлений моделирования роста и производительности древостоев на ЭВМ; 2) планирование наблюдений и сбор экспериментальных данных; 3) статистический анализ экспериментальных данных; 4) моделирование хода роста древостоев по классам бонитета; 5) моделирование роста и производительности сосновых древостоев по типам леса; 6) разработка имитационной модели производительности чистых сосновых древостоев при разных режимах рубок ухода для Iа-IV классов бонитета и основных типов леса; 7) исследование имитационной модели; 8) разработка программ формирования сосновых древостоев; 9) определение экономической эффективности применения модели оптимальной производительности сосновых древостоев.

В процессе исследований использован экспериментальный материал: 1) данные перечислительной таксации сосновых древостоев а) на 365 временных пробных площадях, заложенных сотрудниками кафедры лесоустройства БГТУ и ПО "Белгослес"; б) на 46 постоянных пробных площадях в национальном парке "Беловежская пуша", Березинского заповедника и Негорельского учебно-опытного лесхоза; в) на 20 временных пробных площадях, заложенных автором; 2) местные таблицы хода роста сосновых насаждений республики. Экспериментом охвачены 29 лесхозов и 2 заповедника республики.

Основными ограничивающими факторами при отборе материалов были: класс бонитета - Ia, I, II, III, полнота - не менее 0,7; тип леса - С. орляковый, С. черничный, С. мшистый, С. вересковый.

С помощью интегрированной среды FREMWORK: разработаны программы классификации древостоев по типам леса, классам бонитета, полнотам и диаметрам и статистического анализа данных; созданы модели формирования древостоев оптимальной производительности на основе имитации рубок ухода различной интенсивности и повторяемости, с изменяемым оборотом рубки. Наиболее широко представлены древостои I и II класса бонитета со средней полнотой 0,87; основная часть пробных площадей заложена в сосняках мшистых III-IV классов возраста.

Средний диаметр исследуемых насаждений составляет 22,5 см, высота - 21,1 м, сумма площадей сечений изменяется с возрастом древостоев от 20,9 м² до 31,6 м². Точность оценки средних значений в выборке по классам возраста не превышает 5%. Статистический анализ совокупностей показателей древостоев всех классов возраста показывает, что среднеквадратическое отклонение по диаметру составило 7,14 см, по высоте 5,08 м, по сумме площадей сечений 4,11 м². Коэффициенты вариации по всем показателям не выше 31,7%, а стандартная ошибка 1,52%, что обеспечивает достаточную точность исследований и показывает статистическую однородность исследуемых насаждений.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХОДА РОСТА СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ

Разработка имитационной модели роста, производительности и

формирования рубками ухода сосновых древостоев производилась в последовательности созданного алгоритма.

По программам BON, TIP и DAN проводились выбор и классификация пробных площадей. Статистический анализ экспериментальных данных выполнен с помощью пакета программ для статистической обработки STATGRAF. Проводилось аналитическое выравнивание высот, диаметров и сумм площадей сечений с возрастом древостоев с использованием функции роста Г. Баумана.

По результатам статистической оценки регрессий для моделирования роста древостоев по классам бонитета была принята модель вида:

$$\lg y = b_0 + b_1 \lg A + b_2 \lg H100$$

и по типам леса: $\lg y = b_0 + b_1 \lg A + b_2 \lg^2 A$,

где y - зависимый признак (средняя высота, диаметр или сумма площадей сечений древостоя); A - возраст древостоя, лет; $H 100$ - индекс класса бонитета.

Регрессии достоверны по F - критерию, объясняют 93-99% вариации зависимого показателя с относительной ошибкой 6-16%.

Модели хода роста древостоев по диаметру (D), высоте (H) и сумме площадей сечений (G) в зависимости от возраста (A) имеют вид:

$$\lg H = -1.2400 + 0.7584 \lg A + 0.8255 \lg H100$$

$$\lg D = -1.1098 + 0.8494 \lg A + 0.6698 \lg H100$$

$$\lg G = 0.4619 + 0.3013 \lg A + 0.3823 \lg H100$$

Залас определяется умножением суммы площадей сечений на видовую высоту древостоя. Использовались следующие уравнения связи:

$$HF = b_0 + b_1 H + b_2 H D^{-2} + b_3 H100 \quad (1),$$

$$D^{\text{отп}} = 131.4339 + 0.3722 D^2 - 0.5121 H100 - 26.1311 (\lg A \cdot \lg H) \quad (2),$$

$$\lg H^{\text{отп}} = -0.3412 + 0.9076 \cdot \lg D^{\text{отп}} + 0.3188 \cdot \lg H100 \quad (3).$$

где HF - видовая высота древостоя; H, D - средняя высота и диаметр древостоя; b_0, b_1, b_2, b_3 - коэффициенты регрессии; $D^{\text{отп}}$ - средний диаметр отпада; $H100$ - индекс класса бонитета; N - число стволов древостоя, A - возраст древостоя.

При расчетах применялись формулы для определения таксацион-

ных показателей:

$$N = G/0.785 \cdot D^2 ; N_{a}^{\text{отп}} = N_{a-n} - N_a ; G^{\text{отп}} = N^{\text{отп}} [0.785 (D^{\text{отп}})^2] ;$$

$$M^{\text{отп}} = G^{\text{отп}} \cdot H^{\text{отп}} ; M^{\text{пром}} = \sum M^{\text{отп}} (i=1, \dots, n) ;$$

$$M_a^{\text{общ}} = M_a + \sum M_a^{\text{пром}} ; \bar{Z}_M = M_a^{\text{общ}}/A$$

$$\bar{Z}_M^{\text{н}} = (M_a^{\text{общ}} - M_{a-n}^{\text{общ}})/10 ; P_{\bar{Z}_M} = \bar{Z}_M^{\text{н}} \cdot 100 / [(M_a + M_{a-n}) : 2]$$

где N - число деревьев древостоя, G - сумма площадей сечений древостоя, $N_a^{\text{отп}}$ - число деревьев отпада в настоящий момент; N_a и N_{a-n} - число деревьев в древостое теперь (a) и n лет назад. $G^{\text{отп}}$ - сумма площадей сечений отпада; $H^{\text{отп}}$ - видовая высота отпада; $M^{\text{отп}}$ - запас отпада; $M^{\text{пром}}$ - объем промежуточного пользования; $M_a^{\text{общ}}$ и $M_{a-n}^{\text{общ}}$ - общая производительность теперь и n лет назад; M_a и M_{a-n} - запас древостоя теперь и n лет назад; \bar{Z}_M - средний прирост по запасу; A - возраст древостоя; $\bar{Z}_M^{\text{н}}$ - абсолютный текущий среднепериодический прирост по запасу; $P_{\bar{Z}_M}$ - относительный прирост по запасу.

Остальные показатели таблиц хода роста и их взаимосвязи устанавливаются общепринятыми в лесной таксации способами. Выходом данной имитационной модели являются таблицы хода роста полных сосновых древостоев естественного происхождения по классам бонитета (табл. 1).

Модели хода роста сосновых древостоев составлены для I^а-III классов бонитета. В таблицах представлена таксационная характеристика древостоя в целом, в том числе - показатели отпада. Таблицы составлены для полных чистых сосновых насаждений Беларуси естественного происхождения. По программе LESO проведена размерно-качественная оценка древесины вырубленной в древостоях за оборот рубки.

Выход деловой древесины уменьшается с от I^а к III классу бонитета (от 78,2 до 75.1%), такая же тенденция видна в выходе крупной деловой древесины (от 53 до 34%), процент средней и мелкой деловой древесины увеличивается. Общая производительность по классам бонитета возрастает от 621 до 1071 м³ в связи с различными режимами рубок ухода.

По программе ETALON составлены таблицы роста и производительности древостоев по типам леса. Модели хода роста древостоев

по диаметру (D), высоте (H) и сумме площадей сечений (G) имеют вид:

С. орляковый

$$\lg H = -0.0098 + 1.1443 \cdot \lg A - 0.1892 \cdot (\lg A)^2$$

$$\lg D = -0.0101 + 1.0374 \cdot \lg A - 0.1315 \cdot (\lg A)^2$$

$$\lg G = -0.4004 + 2.7002 \cdot \lg A - 0.2757 \cdot (\lg A)^2$$

С. мшистый

$$\lg H = -0.0500 + 0.8173 \cdot \lg A - 0.0242 \cdot (\lg A)^2$$

$$\lg D = -0.0301 + 0.7083 \cdot \lg A + 0.0282 \cdot (\lg A)^2$$

$$\lg G = -0.6012 + 2.0684 \cdot \lg A - 0.2757 \cdot (\lg A)^2$$

С. черничный

$$\lg H = 0.8912 \cdot \lg A - 0.0857 \cdot (\lg A)^2$$

$$\lg D = 0.7117 \cdot \lg A + 0.0108 \cdot (\lg A)^2$$

$$\lg G = -0.2500 + 2.1713 \cdot \lg A - 0.4127 \cdot (\lg A)^2$$

С. вересковый

$$\lg H = 0.5964 \cdot \lg A + 0.0498 \cdot (\lg A)^2$$

$$\lg D = 0.5107 \cdot \lg A + 0.0974 \cdot (\lg A)^2$$

$$\lg G = -0.7003 + 1.8739 \cdot \lg A - 0.1738 \cdot (\lg A)^2$$

По программе LESO выполнена размерно-качественная характеристика древесины в насаждениях по типам леса за оборот рубки.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РУБОК УХОДА

Основной задачей имитационного моделирования при этом является разработка программ рубок ухода, а именно, показателей, регламентирующих рубки ухода для достижения поставленной цели лесовыращивания (максимум общей производительности на оборот рубки и максимум выхода деловой крупномерной древесины).

Автором разработаны таксационные программы формирования оптимальной производительности сосновых древостоев с учетом имеющихся рекомендаций А.М.Кожевникова(1973, 1990) и данных зарубежных исследователей. Основным нормативным документом является "Наставление по рубкам ухода в лесах Республики Беларусь". На основании программ BONITET и ETALON в информационной среде FRAMEWORK разработан табличный фрейм OPTIMA. Вводными данными служат регрессионные модели для определения хода роста древостоев по диаметру, высоте, сумме площадей сечений, виловой высоте, общая

Таблица 1
Таблица хода роста сосновых древостоев II
класса бонитета

| Древостой в целом | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---|------------------|--------------------------|----------------------------|----------------|---|
| Возраст, лет | Средняя высота, м | Средний диаметр, см | Число стволов, шт | Сумма площадей сечений, м ² | Видовое число | Запас, м ³ | Прирост | | |
| | | | | | | | средний, м ³ | текущий, | |
| | | | | | | | | м ³ | % |

II класс бонитета

| | | | | | | | | | |
|-----|------|------|-------|------|-------|-----|-----|-----|------|
| 10 | 4.7 | 4.7 | 10757 | 19.0 | 0.680 | 61 | 6.7 | 6.7 | 14.7 |
| 20 | 8.0 | 8.5 | 4298 | 24.6 | 0.579 | 113 | 7.3 | 7.8 | 9.0 |
| 30 | 10.8 | 12.0 | 2464 | 28.1 | 0.538 | 163 | 7.8 | 9.0 | 6.5 |
| 40 | 13.5 | 15.4 | 1646 | 30.6 | 0.515 | 212 | 8.0 | 8.7 | 4.6 |
| 50 | 15.9 | 18.6 | 1193 | 32.5 | 0.500 | 259 | 8.1 | 8.3 | 3.5 |
| 60 | 18.3 | 21.7 | 922 | 34.1 | 0.489 | 305 | 8.1 | 7.9 | 2.8 |
| 70 | 20.6 | 24.7 | 737 | 35.4 | 0.481 | 351 | 8.0 | 7.6 | 2.3 |
| 80 | 22.8 | 27.7 | 607 | 36.6 | 0.475 | 396 | 7.9 | 7.2 | 1.9 |
| 90 | 24.9 | 30.6 | 511 | 37.6 | 0.470 | 440 | 7.9 | 6.9 | 1.6 |
| 100 | 27.0 | 33.5 | 437 | 38.5 | 0.466 | 484 | 7.7 | 6.5 | 1.4 |
| 110 | 29.0 | 36.5 | 360 | 39.3 | 0.462 | 527 | 7.5 | 6.3 | 1.2 |
| 120 | 31.0 | 39.1 | 334 | 40.1 | 0.460 | 570 | 7.4 | 6.0 | 1.1 |

| Отпад (вырубаемая часть) | | | | | | | | Общая производи- тельность | |
|--------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---|------------------|--------------------------|--|---|-------------------------------|
| Возраст, лет | Средняя высота, м | Средний диаметр, см | Число стволов, шт | Сумма площадей сечений, м ² | Видовое число | Запас, м ³ | Сумма проме- жуточ- ного пользо- вания, м ³ | Сумма площа- дей сече- ний, м ² | За- пас, м ³ |

| | | | | | | | | | |
|-----|------|------|-------|-----|-------|----|-----|------|-----|
| 10 | 2.3 | 1.9 | 11085 | 3.1 | 0.847 | 6 | 6 | 22.4 | 67 |
| 20 | 4.5 | 4.1 | 6459 | 8.4 | 0.686 | 26 | 31 | 20.2 | 144 |
| 30 | 8.1 | 7.7 | 1834 | 8.5 | 0.573 | 40 | 71 | 28.8 | 234 |
| 40 | 10.6 | 10.3 | 818 | 6.8 | 0.541 | 39 | 110 | 33.9 | 321 |
| 50 | 12.7 | 12.6 | 448 | 5.6 | 0.523 | 36 | 146 | 39.3 | 404 |
| 60 | 14.6 | 14.7 | 276 | 4.7 | 0.511 | 33 | 179 | 42.1 | 484 |
| 70 | 16.2 | 16.5 | 185 | 4.0 | 0.504 | 30 | 209 | 45.4 | 560 |
| 80 | 17.7 | 18.2 | 130 | 3.4 | 0.498 | 27 | 236 | 48.2 | 632 |
| 90 | 19.0 | 19.6 | 96 | 2.9 | 0.495 | 24 | 260 | 50.5 | 700 |
| 100 | 20.1 | 20.9 | 73 | 2.5 | 0.492 | 22 | 282 | 52.7 | 766 |
| 110 | 21.0 | 22.0 | 57 | 2.2 | 0.490 | 19 | 301 | 54.6 | 828 |
| 120 | 21.8 | 22.9 | 46 | 1.9 | 0.490 | 17 | 318 | 56.2 | 888 |

производительность из местных таблиц хода роста, интенсивность, повторяемость рубок ухода и оборот рубки.

Расчет программы ведется с применением лесотаксационных формул по следующему алгоритму:

$$M_{\text{выр}} = M_{\text{до}} \cdot P_{\text{м}} \quad M_{\text{после}} = M_{\text{до}} - M_{\text{выр}}$$

$$M_{\text{до}} = M_{\text{до}} + \bar{ZV}^n \quad \text{или} \quad M_{\text{до}} = M_{\text{после}} + \bar{ZV}^n$$

где $M_{\text{выр}}$ - запас вырубленный во время рубок ухода; $M_{\text{до}}$ - запас до рубки ухода; $P_{\text{м}}$ - процент вырубемого запаса, $M_{\text{после}}$ - запас после рубок ухода; $M_{\text{до}}$ - запас до рубки через пять лет;

\bar{ZV}^n - среднепериодический текущий прирост, м^3 .

Запас вырубленный рубками ухода без коры вычисляется:

$$M_{\text{б/к}} = M_{\text{выр}} \cdot (100 - P_{\text{к}})$$

где $P_{\text{к}}$ - процент коры от объема дерева, взятый в зависимости от среднего диаметра вырубаемых деревьев (равен для диаметра 8-12 см - 16%, 12-16 см - 14%, 16-20 см - 13%, 20 см и более - 12%).

$$V_{\text{ср}} = M_{\text{до}} / N_{\text{до}}; \quad V_{\text{выр}} = V_{\text{ср}} \cdot P_{\text{V}}; \quad P_{\text{V}} = M_{\text{выр}} / V_{\text{выр}};$$

$$N_{\text{после}} = N_{\text{до}} - N_{\text{выр}}; \quad P_{\text{N}} = N_{\text{выр}} / N_{\text{до}}; \quad V_{\text{б/к}} = M_{\text{б/к}} / N_{\text{выр}};$$

$$D_{\text{выр}} = \sqrt{V_{\text{выр}} D_{\text{до}}^2 / V_{\text{до}}}; \quad G_{\text{выр}} = 0.785 D_{\text{выр}}^2 \cdot N_{\text{выр}}$$

где $V_{\text{ср}}$ - Средний объем ствола растущего дерева; $V_{\text{выр}}$ - средний объем вырубленного дерева; P_{V} - процент, который составляет среднее вырубленное дерево по отношению к среднему дереву древостоя (изменяются с возрастом от 40 до 60%); $N_{\text{выр}}$ - количество вырубленных деревьев; $N_{\text{после}}$ - число деревьев после рубки; P_{N} - процент вырубленных деревьев; $V_{\text{б/к}}$ - средний объем вырубленного дерева без коры. $D_{\text{выр}}$ - средний диаметр вырубаемого дерева; $D_{\text{до}}$ - средний диаметр до рубки; $V_{\text{до}}$ - средний объем дерева до рубки; $G_{\text{выр}}$ - сумма площадей сечений вырубаемой части древостоя.

Средняя высота вырубаемого древостоя вычисляется:

$$H_{\text{выр}} = -6.519 + 0.899 D_{\text{выр}} + 21.612lg D_{\text{выр}}$$

Выходами имитационной модели являются таксационные программы формирования сосновых древостоев по классам бонитета (Ia - III) и типам леса (табл. 2). Размерно-качественная характеристика древесины, вырубаемой при рубках ухода, определяется по программе LESO. Результатом вычислений является выход деловой древесины по категориям крупности, а также выход дров и отходов.

В основу расчета лесотаксационных программ формирования древостоев рубками ухода положены таблицы хода роста полных сосновых древостоев по классам бонитета и типам леса. Интенсивность и повторяемость рубок ухода принята в соответствии с Наставлением по рубкам ухода с использованием рекомендаций зарубежных лесоводов, согласно которым повторяемость изменяется с возрастом. Всего рассматривалось 20 вариантов рубок ухода для Ia - III классов бонитета (табл. 3) и типов леса.

В первых семи вариантах, при постоянной в течении периода лесовыращивания интенсивности и начале рубок ухода в 20 лет, повторяемость с возрастом увеличивается в 1- 5 вариантах с 5 до 15 лет и в 6, 7 вариантах - с 10 до 15 лет. Такой подход более соответствует лесоводственной целесообразности, в связи с большим приростом в молодняках. Тогда как с возрастом необходимость частых рубок ухода отпадает. В 9 - 11 вариантах возраст начала рубок ухода принят 25 лет, в 12-ом - 30 лет. Это соответствует положению Наставления по рубкам ухода, в связи с которым в чистых сосновых древостоях начало рубок ухода может быть установлено в 30 лет. В остальных вариантах (13 - 20) в соответствии с Наставлением прореживания начинаются в 20 лет и проводятся с интенсивностью от 10 до 25% и повторяемостью от 10 до 25 лет.

Общая производительность и выход деловой древесины является наибольшими в Ia классе бонитета при рубках ухода с интенсивностью 20% и повторяемостью 5-15 лет (6 рубок за оборот рубки), для I и II - прореживания должны проводиться 5 раз за оборот рубки через 10-15 лет с интенсивностью 20%. Основное влияние на эти показатели оказало соотношение размеров рубок ухода и главного пользования: большие объемы рубок ухода в молодом возрасте характеризуются высоким выходом мелкой деловой древесины, но обеспечивают максимальный размер главного пользования. Сравнение

Таблица 2

Программа формирования чистого соснового древостоя
II класса бонитета рубками ухода интенсивностью 15%
и оборотом рубки 100 лет, 2 вариант

| Древостой | | | | | | | | |
|--------------|---------------------|-------------------|-------------------|--|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--|
| Возраст, лет | Средний диаметр, см | Средняя высота, м | Число стволов, шт | Сумма площадей сечений, м ² | Запас, м ³ | Прирост | | Общая производительность, м ³ |
| | | | | | | текущий, м ³ | средний, м ³ | |
| 20 | 8.5 | 8.6 | 4298 | 24.1 | 113 | | 7.3 | 145 |
| 25 | 11.3 | 12.3 | 2833 | 28.6 | 141 | 9.0 | 7.6 | 190 |
| 30 | 14.4 | 15.6 | 1736 | 28.2 | 165 | 9.0 | 7.8 | 235 |
| 35 | 17.7 | 18.6 | 1213 | 29.8 | 184 | 8.8 | 8.0 | 279 |
| 40 | 18.6 | 19.3 | 1213 | 32.8 | 227 | 8.6 | 8.1 | 322 |
| 45 | 22.0 | 22.0 | 847 | 32.1 | 235 | 8.4 | 8.1 | 364 |
| 50 | 22.8 | 22.6 | 847 | 34.7 | 276 | 8.2 | 8.1 | 405 |
| 55 | 23.9 | 23.4 | 847 | 38.0 | 316 | 8.0 | 8.1 | 445 |
| 60 | 26.7 | 25.3 | 616 | 34.4 | 308 | 7.8 | 8.1 | 484 |
| 65 | 27.6 | 25.9 | 616 | 36.9 | 346 | 7.6 | 8.0 | 522 |
| 70 | 28.3 | 26.3 | 616 | 38.6 | 384 | 7.6 | 8.0 | 560 |
| 75 | 31.2 | 28.2 | 462 | 35.2 | 363 | 7.4 | 7.9 | 597 |
| 80 | 31.8 | 28.6 | 462 | 36.8 | 398 | 7.0 | 7.9 | 632 |
| 85 | 32.6 | 28.6 | 462 | 38.6 | 433 | 6.9 | 7.8 | 667 |
| 90 | 33.2 | 29.4 | 462 | 39.9 | 467 | 6.9 | 7.8 | 701 |
| 95 | 33.8 | 29.7 | 462 | 41.4 | 600 | 6.6 | 7.7 | 734 |
| 100 | 34.2 | 30.0 | 462 | 42.3 | 532 | 6.4 | 7.7 | 766 |

| Вырубаемая часть | | | | | | | | | | |
|------------------|---------------------|-------------------|-------------------|--|-----------------------|--|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------|
| Возраст, лет | Средний диаметр, см | Средняя высота, м | Число стволов, шт | Сумма площадей сечений, м ² | Запас, м ³ | Сумма промежуточного пользования, м ³ | Выход деловой древесины | | | |
| | | | | | | | крупной, м ³ | средней, м ³ | мелкой, м ³ | Итого деловой, м ³ |
| 20 | 5.6 | 4.6 | 1465 | 3.7 | 17.0 | 17.0 | 0 | 0 | 10.2 | 10.2 |
| 25 | 7.0 | 5.4 | 1097 | 4.3 | 21.2 | 38.2 | 0 | 0 | 16.9 | 16.9 |
| 30 | 10.1 | 9.8 | 523 | 4.2 | 24.7 | 52.9 | 0 | 0 | 18.7 | 18.7 |
| 35 | | | | | | 62.9 | | | | |
| 40 | 13.1 | 13.3 | 365 | 4.9 | 34.1 | 97.0 | 0 | 1.4 | 19.4 | 20.8 |
| 45 | | | | | | 97.0 | | | | |
| 50 | | | | | | 97.0 | | | | |
| 55 | 17.7 | 17.6 | 232 | 5.7 | 47.4 | 144.4 | 0 | 20.5 | 15.6 | 36.1 |
| 60 | | | | | | 144.4 | | | | |
| 65 | | | | | | 144.4 | | | | |
| 70 | 21.9 | 20.9 | 154 | 5.8 | 57.6 | 202.0 | 2.2 | 30.8 | 10.0 | 43.0 |
| 75 | | | | | | 202.0 | | | | |
| 80 | | | | | | 202.0 | | | | |
| 90 | | | | | | 202.0 | | | | |
| 100 | 34.2 | 29 | 462 | 42.3 | 532.1 | 734.1 | 240.7 | 182.9 | 10.4 | 434.0 |

результатов показало, что значительное влияние на размерно-качественную структуру древесины оказывает также интенсивность рубок ухода. Более высокий процент выборки (25-30%) с большими периодами повторяемости между рубками обеспечивает высокий выход крупной и средней древесины.

Основными критериями при выборе оптимальных программ формирования сосновых древостоев по классам бонитета послужили: максимальная сумма главного и промежуточного пользования, с учетом процента выхода деловой древесины, в частности крупномерной древесины, а также лесоводственная и экономическая эффективность рубок ухода. В качестве программ формирования оптимальной производительности сосновых древостоев рекомендуются для Ia и I классов бонитета прореживания с интенсивностью 20%, повторяемостью 5-15 лет, 6 рубок за оборот рубки, для II класса бонитета и сосняков орлякового и черничного - выборка по запасу должна составлять 15%, период между рубками 5-15 лет, число рубок - 6, для III класса бонитета и сосняков мшистого и верескового эти показатели составляют, соответственно, 20%, 10-15 лет, 5 рубок. Для основных типов леса рекомендованы в качестве программ формирования чистых сосновых древостоев могут быть: для С. орлякового и черничного 2 вариант, для С. мшистого и верескового - 6 вариант.

Эффективность и рентабельность рубок ухода были рассчитаны по методике кафедры экономики и организации природопользования ВГТУ, основанной на учете себестоимости древесины, получаемой при рубках ухода и прибыли от ее реализации, а так же суммарных затрат на лесовыращивание и прибыли от реализации древесины, получаемой при рубках главного пользования.

Рентабельность прореживаний увеличивается с возрастом и уменьшается от Ia к III классу бонитета, изменяется от 53,3 до 86,6%. Уход в молодняках характеризуется низким уровнем рентабельности (она в основном отрицательная), что снижает рентабельность лесовыращивания до 10%; однако это обеспечивает высокий уровень выхода крупномерной качественной древесины при последующих рубках. Малая повторяемость рубок ухода в II, III классах бонитета обуславливают самокупаемость рубок ухода и повышение рентабельности лесовыращивания. Однако необходим одновременный учет качественной цифры вырубленной древесины, выхода крупномерной продукции, который в высоких классах бонитета значительно

Таблица 3
Общая производительность сосновых древостоев
при различных режимах рубок ухода по классам бонитета

| Вариант рубок ухода | Показатели прореживаний | | | | Общая производительность оборот рубки | | | |
|---------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------|-------------|--|------------|------------|--|
| | интенсивность, % | возраст начала ухода, лет | повторность, лет/раз | | по классам бонитета, м ³ /лет | | | |
| | | | | Ia | I | II | III | |
| 1 | 15 | 20 | 5-15 6 | 846 80 | 720 80 | 734 100 | 593 100 | |
| 2 | 15 | 20 | 5-15 6 | 942 90 | 802 90 | 734 100 | 593 100 | |
| 3 | 15 | 20 | 5-15 5 | 1033 100 | 881 100 | 734 100 | 644 110 | |
| 4 | 20 | 20 | 5-15 6 | 942 90 | 802 90 | 669 90 | 540 90 | |
| 5 | 20 | 20 | 5-15 5 | 846 80 | 735 80 | 612 80 | 494 80 | |
| 6 | 20 | 20 | 10-15 5 | 1033 100 | 881 100 | 734 100 | 593 110 | |
| 7 | 25 | 20 | 10-15 4 | 846 80 | 720 80 | 612 80 | 444 80 | |
| 8 | 15 | 20 | 15 5 | 869 85 | 739 85 | 714 100 | 578 100 | |
| 9 | 20 | 25 | 15 4 | 916 90 | 779 90 | 649 90 | 525 90 | |
| 10 | 20 | 25 | 20 3 | 937 90 | 779 90 | 664 90 | 535 90 | |
| 11 | 25 | 25 | 20 3 | 916 90 | 779 90 | 649 90 | 525 90 | |
| 12 | 30 | 30 | 25 2 | 733 80 | 674 80 | 560 80 | 560 100 | |
| 13 | 20 | 20 | 20 4 | 846 80 | 720 80 | 734 100 | 644 110 | |
| 14 | 25 | 20 | 20 3 | 846 80 | 720 80 | 734 100 | 593 100 | |
| 15 | 30 | 20 | 20 3 | 817 80 | 856 100 | 713 100 | 593 100 | |
| 16 | 10 | 20 | 15 4 | 846 80 | 802 90 | 669 90 | 593 100 | |
| 17 | 15 | 20 | 20 6 | 942 90 | 802 90 | 669 90 | 593 100 | |
| 18 | 10 | 20 | 10 5 | 942 90 | 881 100 | 734 100 | 593 100 | |
| 19 | 10 | 20 | 15 3 | 846 80 | 720 80 | 669 90 | 593 100 | |
| 20 | 25 | 20 | 25 3 | 1033 100 | 881 100 | 734 100 | 644 110 | |

превышает низкобонитетные насаждения.

ВЫВОДЫ

1. Экспериментальный материал включает 431 пробные площади, заложенные в чистых сосновых древостоях с полнотой не ниже 0,7. Эти данные являются достаточными и надежными с вероятностью 0,95 для моделирования хода роста и производительности сосновых древостоев, разработки моделей (таблиц) оптимальной производительности сосновых древостоев.

2. Создана имитационная система моделирования роста и производительности насаждений при различных режимах рубок ухода по классам бонитета и типам леса. Разработаны регрессионные уравнения связи таксационных показателей с возрастом насаждений и составлены таблицы хода роста чистых сосновых древостоев естественного происхождения по классам бонитета и типам леса.

3. Представлена теоретическая модель оптимальной производительности сосновых древостоев. Основными критериями при выборе оптимальных программ формирования сосновых древостоев послужили: максимальная общая производительность с учетом выхода крупной и средней деловой древесины. Разработаны программы формирования чистых сосновых насаждений естественного происхождения для различных режимов рубок ухода по классам бонитета и типам леса. Основное влияние на процент выхода деловой древесины оказывают соотношение объемов рубок ухода и главного пользования, интенсивность и повторяемость рубок ухода.

4. В качестве программ формирования сосновых древостоев оптимальной производительности рекомендуются: для Ia и I классов бонитета рубки ухода интенсивностью 20%, повторяемостью 5-15 лет, 6 рубок ухода за оборот рубки, для II-го - рубки ухода должны проводиться 6 раз через 5-15 лет с интенсивностью 15%, для III-го - эти показатели, соответственно, составят 5 раз, 10-15 лет, 20%.

5. Рентабельность лесовыращивания сосновых древостоев в соответствии с программами формирования насаждений изменяется от 53,5 до 86,6%. При выращивании сосновых насаждений оптимальной производительности рентабельность достигает в древостоях Ia класса бонитета - 72,3%. I класса бонитета - 61,9 %, II класса

бонитета = 67,6 %, III класса бонитета - 73,0%.

5. Результаты исследований подтвердили положение о целесообразности программирования рубок ухода. Для определенных условий произрастания и таксационных показателей следует подбирать оптимальную программу формирования древостоя, которая должна наиболее полно отвечать условиям лесоводственной и экономической эффективности. Программы формирования позволяют выбрать оптимальный вариант рубок ухода с максимальной общей производительностью и с различным оборотом рубки, сократить период целевого лесовыращивания. Результаты исследований внедрены в ПО "Белгослес" для лесоустойчивого проектирования рубок ухода в лесах Беларуси.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Атрошенко О.А., Севко О.А. Моделирование оптимальной производительности древостоев // Современные аспекты лесной таксации. Сборник научных трудов Института леса АНБ. - Гомель, 1994. - Вып. 38. - С. 51-55.
2. Севко О.А. Моделирование оптимальной производительности сосновых древостоев по классам бонитета // Сб. Труды БГТУ. Лесное хозяйство. - Мн.: БГТУ, 1994. - Вып. 2. - С. 88-91.
3. Севко О.А. Лесотаксационная программа формирования сосновых древостоев оптимальной производительности рубками ухода // Тез. докладов международной научно-практической конференции "Лес - 95". 29 марта - 1 апреля 1995 г. - Мн.: БГТУ, 1996. - С. 32.
4. Севко О.А. Модели формирования чистых сосновых древостоев максимальной производительности рубками ухода // Тез. докладов международной научно-практической конференции "Лес - 96". 21-24 мая 1996 г. - Мн.: БГТУ, 1996. - С. 28.
5. Севко О.А. Моделирование оптимальной производительности чистых сосновых древостоев по типам леса // Сб. Труды БГТУ. Лесное хозяйство. - Мн.: БГТУ, 1996. - Вып. 3. - С. 76-79.

Р Е З Ю М Е

Севко Оксана Александровна. Моделирование оптимальной производительности естественных сосновых древостоев в условиях Беларуси.

СОСНА, МОДЕЛЬ, ХОД РОСТА, ПРОГРАММА, ФОРМИРОВАНИЕ, ТАКСАЦИЯ, ОПТИМАЛЬНАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ, ИССЛЕДОВАНИЕ, ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.

Исследование проводилось по данным таксации чистых сосновых древостоев на 431 пробной площади. Цель работы - разработать лесотаксационные модели оптимальной производительности чистых сосновых древостоев естественного происхождения при различных режимах рубок ухода по классам бонитета и типам леса. Используются приемы имитационного моделирования с помощью ПЭВМ. Разработаны программы формирования чистых древостоев рубками ухода, составлены таблицы хода роста естественных сосновых древостоев по классам бонитета и типам леса. Впервые для республики составлены таксационные программы, позволяющие формировать сосновые насаждения максимальной производительности и содержащие размерно-качественную характеристику заготавливаемой древесины, выявлены оптимальные варианты моделей. Результаты исследований внедрены в ПО "Белгослес" для лесоустроительного проектирования рубок ухода в лесах Беларуси.

Р Е З Ю М Е

Сеўко Аксана Аляксандраўна. Модэляванне аптымальнай прадукцыйнасці натуральных сосновых дрэвастояў ва ўмовах Беларусі.

СОСНА, МАДЭЛЬ, ХОД РОСТУ, ПРАГРАМА, ФАРМАВАННЕ, ТАКСАЦЫЯ, АПТЫМАЛЬНАЯ ПРАДУКЦЫЙНАСЦЬ, ДАСЛЕДАВАННЕ, ІМІТАЦЫЙНАЕ МАДЭЛЯВАННЕ.

Даследаванне праводзілася па даных таксатцыі чыстых сосновых дрэвастояў на 431 пробнай плошчы. Мэта працы - распрацаваць лесатаксатцыйныя мадэлі аптымальнай прадукцыйнасці чыстых сосновых дрэвастояў натурнага паходжання пры розных рэжымах высечак догляду па класах банітэту і тыпах лесу. Выкарыстаны прыёмы імітацыйнага мадэлявання з дапамогай камп'ютэра. Распрацаваны праграмы фармавання сосновых дрэвастояў высечкамі догляду, складзеныя таблицы хода росту натуральных сосновых дрэвастояў па класах бані-

тэту і тыпах лесу. Упершыню для рэспублікі складзены таксацыйныя праграмы, якія дазваляюць фармаваць сасновыя дрэвастоі максімальнай прадукцыйнасці і ўтрымліваюць памерна-часную характэрыстыку нарыхтоўваемай драўніны, вызначаны алтымальныя варыянты мадэляў. Вынікі даследаванняў укаранены ў ВА "Белдзяржлес" для лесаўпарадкага праектавання высечак догляду ў лясах Беларусі.

S U M M A R Y

Sewko Oksana Alexandrovna. Modeling of optimum yield natural pine stands in conditions Belarus.

PINE, MODEL, GROWTH OF STAND, PROGRAM, FORMATION, FOREST MENSURATION, OPTIMUM YIELD, RESEARCH, SIMULATION MODELING.

The research was conducted on given forest mensuration of 431 sample plots, incorporated in pure pine stands of Belarus. The purpose of work - to make up the stand simulation program of formation of pure pine natural stands of maximum productivity on bonitet classes and forest site types. The methods of mathematical simulation modeling with the help of computer are used. The programs of formation of pine stands by thinnings of a maintenance are developed, tables of growth of natural pine stands on bonitet classes and forest site types are made. For the first time for the republic the taxation programs, enabling to form pine stands of maximum yield and containing size-qualitative characteristic of a cutting wood are made, optimum variants of models are revealed. The results of researches are introduced in "Belgosles" for forest inventory designing thinnings in the forest of Belarus.

Севко Оксана Александровна

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЕСТЕСТВЕННЫХ
СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ

Подписано в печать 16.12.96. Формат 60x84 1/16. Печать
офсетная. Усл. печ. л. 1,4. Усл. кр.-отт. 1,4. Уч.-изд. л. 1,2.
Тираж 100 экз. Заказ 360.

Белорусский государственный технологический университет
220630, Минск, Свердлова, 13а.

Отпечатано на ротапринтере Белорусского государственного тех-
нологического университета.
220630, Минск, Свердлова, 13а.