

Фогеля, а для оптимального плана - метод потенциалов. Порядок решения транспортных задач с помощью QSB описан в учебном пособии [8].

Второй класс составляют прикладные программные средства общего назначения, которые в числе прочих позволяют решить и транспортную задачу. Характерным примером здесь является популярный табличный процессор Microsoft Excel, в частности способы прогнозирования значений с помощью анализа "что-если" предоставляет программное средство ПОИСК РЕШЕНИЯ. Решение транспортной задачи при помощи средств Поиск решения более подробно описано в работе [1,2].

Рассмотренные программные продукты сделали методы анализа более доступными и наглядными, устранили необходимость выполнения вручную трудоемких расчетов по сложным формулам, построение таблиц и графиков. Практически все пакеты обеспечивают широкий набор средств визуализации данных: построение графиков, двух- и трехмерных диаграмм, а часто и различные средства деловой графики, помогающие лучше представить обрабатываемые данные, получить общее

представление об их особенностях и закономерностях.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Костевич Л.С. Информационные технологии оптимальных решений. – Мн.: Академия управления при Президенте Республики Беларусь, 1999.
- [2]. Костевич Л.С. Информационные технологии оптимальных решений и реинжиниринг в повышении эффективности менеджмента. – Мн.: БГЭУ, 2000.
- [3]. Гринберг А.С., Шестаков В.М. Информационные технологии моделирования процессов управления экономикой. – Мн.: Академия управления при Президенте Республики Беларусь, 1998.
- [4]. Экономико-математические методы для руководителя. /П.В. Авдулов, Э.И. Гойзман, В.А. Кутузов и др. – М.: Экономика, 1994.
- [5]. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Сов.радио, 1972.
- [6]. Курицкий Б.Я. Поиск оптимальных решений средствами Excel 7.0. – СПб.: ВНУ – Санкт-Петербург, 1997.
- [7]. Шелобаев С.И. Математические методы и модели в экономике, финансах, бизнесе. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000.

Глухов В.В., Медников М.Д., Коробко С.Б. Математические методы и модели для менеджмента. – СПб.: Издательство "Лань", 2000

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РОСТА ЛЕСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИМЕДИЙНОГО ИНТЕРФЕЙСА

Н.И. Гурин<sup>1</sup>, В.П. Григорьев<sup>2</sup>, М.С. Скачков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – Кафедра информатики и вычислительной техники, Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова 13а, Минск, 220630, БЕЛАРУСЬ, тел. (37517)227-43-76, e-mail: [gurin@ivt.bstu.unibel.by](mailto:gurin@ivt.bstu.unibel.by)

<sup>2</sup> – Кафедра лесоводства, Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова 13а, Минск, 220630, БЕЛАРУСЬ, тел. (37517)227-82-73

## АННОТАЦИЯ

В данной работе проводится компьютерное имитационное моделирование формирования чистого соснового древостоя от возраста сеянцев до возраста смыкания крон (20 лет) на основе разработанного мультимедийного тренажера. Показано, что с использованием предлагаемой методики, можно получать оптимальные решения основных задач лесовыращивания и лесопользования без проведения натурных экспериментов, действуя в обстановке виртуальной реальности,

предоставляемой мультимедийным компьютерным тренажером.

## ВВЕДЕНИЕ

Основная стратегическая задача древесных сообществ – захват или освоение территории. Она решается за счет обильного обсеменения площадей или достаточно густых посадок искусственным путем. По мерс роста и смыкания крон растения, попавшие в неблагоприятные условия, с плохими наследственными качествами, постепенно погибают. Из десятков тысяч молодых

растений к зрелому возрасту остается несколько сотен.

Процесс роста и изреживания древостоев сопоставим с саморегулирующимися системами. Прогноз их развития вполне возможен на основе математического и имитационного моделирования [1,2]. Однако в силу высокого варьирования генетических (фенотипических) свойств отдельных особей, пестроты почвенного плодородия и конкурентных взаимоотношений особенно в молодом возрасте для получения картины процесса, близкой к достоверности, желательны экспертные оценки на разных этапах имитации роста древостоя.

Предлагаемый метод моделирования формирования и роста древесных ценозов коренным образом отличается от существующих традиционных методик составления моделей и таблиц хода роста лесных насаждений, которые учитывают временные изменения их характеристик в пределах ограниченных условий среды обитания. Слабым местом таблиц, и этого метода вообще, является описание процессов формирования и роста древостоев в индивидуальной фазе (для хвойных пород до 20 лет), так как в этот период необходимо учитывать генетическое разнообразие популяций, высокое варьирование экологических характеристик экотопа и первоначальную густоту возникающего сообщества. Поэтому большинство моделей роста и соответствующих таблиц созданы для древостоев старше 20 лет, когда решающим фактором становится конкуренция за свет и ресурсы питания в сомкнутом сообществе.

Традиционные методы изучения хода роста лесных насаждений не дают количественных характеристик формирования пространственных структур древесных ценозов. Их оценки и размещение деревьев в пространстве во многом определяют биологическую устойчивость лесных насаждений.

Средства современной компьютерной техники позволяют проводить имитационное моделирование любых процессов в наглядной форме на основе мультимедийного интерфейса. Фактически моделирование процессов на экране монитора компьютера в мультимедийном интерфейсе создает эффект реальной обстановки и виртуального присутствия в ней человека. Это обстоятельство позволяет практически без

всяких материальных затрат многократно проводить компьютерные эксперименты по моделированию изучаемого процесса в различных условиях и получать оптимальные решения поставленных задач без использования натуральных экспериментов.

## 2. ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Компьютерная система для имитационного моделирования роста древостоев представляет собой мультимедийный тренажер, реализованный средствами системы программирования Delphi с использованием элементов управления интерфейсом DirectX. В качестве исходного исследуемого объекта для обеспечения достаточной статистической выборки задается участок леса площадью в 1 га, из которого возможен переход к контрольному участку площадью 20x20 метров, выбранному пользователем на гектаре, и далее к биогруппе, состоящей из выбранного дерева и его ближайшего окружения.

Режим «Контрольный участок» является основным в процессе моделирования формирования древостоя, в котором на экране наглядно (в двух проекциях – вид сверху и со стороны для любой выбранной пользователем полосы на участке) представляются основные параметры деревьев: высота, диаметр ствола, ширина, форма и высота кроны, отпавшие деревья.

Кроме того, в этом режиме возможен переход к изометрическому изображению на экране контрольного участка, благодаря которому на экране наглядно представляются доминирующие деревья и формирующиеся биогруппы, с возможностью перехода к любому ряду в посадке.

Тренажер представляет на экране в графическом виде результаты ежегодного изменения - от 1 года до 20 лет - состояния деревьев на выбранном контрольном участке леса в соответствии с закономерностями, лежащими в основе работающих в данном режиме моделей. Шаг модели – 1 год, графическое отображение деревьев во всех режимах, а также выходные параметры о каждом дереве на площади 1 га в текстовом виде приводятся на конец года.

Работа пользователя с тренажером сводится к выбору режима представления информации на экране и к выбору моделей, которые используются на каждом шаге процесса выращивания древостоя – от высадки семян

заданным способом, затем изменения параметров деревьев в ходе роста в соответствии с функциональными зависимостями модели и до отпада деревьев.

Экран тренажера разделен на графическую область и область управления. В графической области доступно 4 режима :

- режим *гектара* (вид сверху);
- режим *контрольного участка* 20м \* 20м (вид сверху) с выбором полосы деревьев, представляемой во фронтальной проекции;
- режим *био группы* (вид сверху) для отдельного дерева и его ближайшего окружения;
- режим *контрольный участок в изометрии* с выбором исходной полосы деревьев для просмотра массива.

Во всех режимах можно просматривать рост леса (или обратный процесс) со скоростью 1 год в секунду автоматически. В ходе работы тренажера создается временная база данных, в которой хранятся данные о всех деревьях на 1 га за все 20 лет.

В области управления доступны: выбор режима представления изображения на экране, информация о параметрах деревьев и возможность изменения параметров модели.

### 3. ОПИСАНИЕ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ МОДЕЛЕЙ

Отбор деревьев в отпад производится случайным образом с использованием стандартных нормативов посадки и отпада за 20 лет для сосняков 2-го класса бонитета. Количество отпавших деревьев за год вычисляется по формуле

$$N_{отп} = N_i (Y^{-0.2} - (Y + 1)^{-0.2})$$

где:  $N_{отп}$  – количество отпавших деревьев за год;  $N_i$  – первоначальное количество деревьев (количество саженцев);  $Y$  – количество лет, прошедших после посадки. Отпавшие деревья имеют свое графическое отображение в течении того количества лет, которое прожили до отпада.

На высоту дерева, ширину кроны, диаметр ствола влияют его генотип и условия произрастания. Отклонения от среднего значения по обоим факторам рассчитываются по функции Лапласа для нормального распределения и выражаются в величине соответствующего коэффициента для каждого из влияющих факторов. При этом необходимо отметить, что в данной версии тренажера

коэффициенты варьирования по обоим факторам рассчитываются независимо, хотя, вообще говоря, это является определенным допущением и существуют модели, где учитываются их корреляции [3]. Максимальные значения отклонений от средних значений факторов можно задавать в интерактивном режиме в пункте меню «Моделирование» тренажера. Итоговый коэффициент варьирования  $k_{12}$ , на который умножается высота, ширина кроны и диаметр ствола для  $i$ -го дерева рассчитывается, учитывая принятое в используемой модели допущение, о чем было сказано выше, как произведение соответствующих коэффициентов:

$$k_{12} = k_{фенотип} * k_{среда}$$

где:  $k_{фенотип}$  – коэффициент, учитывающий влияние генотипа;  $k_{среда}$  – коэффициент, учитывающий влияние условий среды.

Высота дерева рассчитывается исходя из некоторого аппроксимированного набора опытных данных и выборе степенной аппроксимирующей функции по следующей формуле:

$$H = 0.1581 * Y^{1.2627} * k_{12}$$

где  $H$  – высота дерева;  $Y$  – количество лет, прошедших после посадки;  $k_{12}$  – коэффициент, учитывающий влияние генотипа и условий произрастания.

Диаметр ствола дерева рассчитывается исходя из опытных данных по следующей формуле:

$$D_{ствол} = 0.375 * Y * k_{12}$$

где  $D_{ствол}$  – диаметр ствола дерева;  $Y$  – количество лет, прошедших после посадки;  $k_{12}$  – коэффициент, учитывающий влияние генотипа и условий произрастания.

Ширина кроны дерева рассчитывается по четырем направлениям в зависимости от конкуренции между деревьями после смыкания крон в данном направлении. Принято, что при наличии конкуренции в  $i$ -ом направлении радиус кроны увеличивается в этом направлении в 2 раза медленнее, что согласуется с имеющимися опытными данными.

## 4. ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

### 4.1. ФОРМИРОВАНИЕ РАСТРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЕРЕВА

Растр дерева формируется из двух частей – геометрия ствола и текстура кроны. Геометрия ствола жестко увязана с месторасположением дерева. Текстура кроны заполняет прямоугольник, получаемый по данным ширины кроны в западном и восточном направлениях её роста, по высоте кроны. Даже при одной и той же текстуре кроны для всех деревьев достигается видимое разнообразие леса в изометрии за счет влияния фенотипа, среды и конкуренции (текстура ужимается, растягивается, смещается).

Используется правильная изометрия (по оси Z откладывается расстояние в два раза меньше, чем по осям X и Y). Прорисовка рядов начинается с последнего дальнего ряда (последующие ряды накладываются на предыдущие). Для большей наглядности визуального пространственного распределения применяется эффект дымки – прозрачность рядов увеличивается от первого к последнему. Размеры деревьев не учитывают коэффициент перспективы.

### 4.2. DIRECTX

Область управления занимает меньшую часть рабочей области программы (экрана) и использует элементы управления WIN32. Графическая область – поверхность для вывода графики, управляемая функциями DirectX, но и позволяющая обрабатывать стандартные события (щелчок мыши, нажатие клавиши).

DirectX ускоряет вывод 2D и 3D-графики, позволяет использовать эффекты (прозрачность, цветовое наложение, размытие), предотвращает мигание при перерисовке (картинка сначала формируется в памяти, а затем выводится на экран). Легко меняются разрешение экрана и глубина цвета.

DirectX версии 6.0 включает в себя следующие API: DirectDraw, DirectSound, DirectInput, DirectPlay, Direct3D. В программе использовался только DirectDraw. DirectDraw обеспечивает доступ к аппаратным средствам, отвечающих за изображение. Предлагается возможность работать с двумерной графикой и

напрямую управлять видеопамятью, оверлеями и сменной видеостраниц. В дальнейшем предполагается использовать пространственные модели деревьев, что требует подключения функций Direct3D. При этом можно будет «видеть лес» с любой точки с помощью виртуальной камеры как, например, это доступно в системе 3D-Studio MAX. Direct3D - это подсистема создания трехмерных графических изображений состоящая из API низкого уровня, который обеспечивает несколько базовых возможностей создания изображения, и API высокого уровня, который осуществляет комплекс операций, образующих изображение.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Можно сказать, что смоделированный на экране дисплея с использованием заданных ограничений и выбранных моделей роста 20-летний древостой обладает всеми свойствами естественных ценозов: сформированы биогруппы, четко выделяются доминирующие деревья. Методика моделирования с помощью мультимедийного интерфейса позволяет в совокупности решать задачи оценок роста и устойчивости древесных ценозов. Ближайшей практической перспективой использование метода может явиться имитация наиболее продуктивных и устойчивых древостоев для создания эталонов, близких к идеальным. В более отдаленной перспективе – разработка критериев оценок продуктивности и качества лесных насаждений и возможности «мягкого» регулирования процессов лесовыращивания.

Таким образом, в результате моделирования на экране тренажера мы получаем кроме результатов формирования древостоя за данный период также и возможность планировать стратегию последующих рубок ухода для выращенного в заданных условиях леса.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Моделирование биогеоценотических процессов. М.: Наука, 1981, 184с.
- [2]. Е.Л. Маслаков. Формирование сосновых молодняков. М.: Лесная промышленность, 1984, 166с.
- [3]. А.И. Бузыкин, Л.С. Пшеничникова. Формирование сосново-лиственных молодняков. Ново-сибирск: Наука, 1980, 176с