

Воспроизведение случайных процессов в соответствии с заданными законами распределения обычно производится методом статистических испытаний [4]. Реализации профиля по заданным корреляционным функциям удобно формировать с помощью алгоритмов дискретного моделирования [6].

Для моделирования реализаций случайных функций профиля и плана лесных дорог нами составлены алгоритм (рис. 3) и программа на языке Фортран. Программа предусматривает вычисление случайных значений профиля по корреляционным функциям [3, 5], а также получение случайных чисел, распределенных по нормальному, логнормальному (уклоны), Вейбулла (длины уклонов) и показательному (радиусы кривых, расстояния между закруглениями) законам. При этом входящие в расчетные выражения нормально распределенные числа  $\eta$  определяются по одному из приближенных функциональных соотношений, а случайные числа  $\xi$  с равномерным распределением в интервале (0; 1) — при помощи метода вычетов, легко реализуемого на ЭВМ [1]. На рис. 3 обозначения  $a_0$ ,  $\alpha$ ,  $t$  и  $M$  соответствуют специально подобранным целым постоянным, начальные значения  $v_{n-1}$  и  $v_{n-2}$  принимаются равными нулю, а число  $U = 1$ .

Вероятностные реализации случайных функций профиля и плана предназначены для использования в качестве входных воздействий при имитации на ЭВМ движения транспортного средства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Айвазян С. А., Енюков И. Е., Мешалкин Л. Д. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных.—М.: Финансы и статистика, 1983.—471 с. [2]. Безбородова Г. Б., Галушко В. Г. Моделирование движения автомобиля.—Киев. Вища шк., 1978.—168 с. [3]. Библик Н. И., Литвинчук Е. Н. Статистическая оценка параметров микропрофиля трелевочных волоков // Лесное хозяйство, лесная, бумажная и деревообрабатывающая промышленность: Сб. науч. тр.—Киев: Будивельник, 1990.—С. 50—53. [4]. Галушко В. Г. Вероятностно-статистические методы на автотранспорте.—Киев: Вища шк., 1976.—232 с. [5]. Костогрыз С. Г., Ковтун И. П. Статистические характеристики продольных профилей лесовозных автомобильных дорог // Лесн. журн.—1974.—№ 4.—С. 58—63.—(Изв. высш. учеб. заведений). [6]. Фурунжиев Р. И. Автоматизированное проектирование колебательных систем.—Минск: Вышеш. шк.; 1977.—452 с.

Поступила 2 декабря 1991 г.

УДК 630\*305

## К ОБОСНОВАНИЮ ОЧЕРЕДНОСТИ ОСВОЕНИЯ ЛЕСОСЕК

С. М. ГОРДЕЕВ, Г. А. ИВАНОВ

Марийский политехнический институт

Объемы рубок леса для каждого лесозаготовительного предприятия (ЛЗП), имеющего закрепленную лесосырьевую базу и лесосечный фонд долговременного пользования, определяются планом рубок, который разрабатывают на основе материалов лесоустройства. Планы рубок составляют как документы краткосрочного проектирования с периодичностью 5—10 лет, учитывая принадлежность участков лесосырьевой базы к соответствующим группам и типам лесов.

При разработке плана рубок преследуется цель — определение рационального размещения будущих лесосек на территории лесосырьевой базы по времени, сезонам и способам освоения, размерам и срокам примыкания лесосек.

Ее достижение связано с рядом трудностей. Ввиду того, что сейчас лесозаготовительная отрасль не располагает научно обоснованной ме-

тодиков планирования, эффективность принимаемых планов рубок в основном зависит от опыта и интуиции проектировщиков и работников леспромхозов.

Поэтому разработка методов для выбора оптимального варианта плана рубок и установления очередности освоения лесосек с учетом срока примыкания, минимальной протяженности лесовозных дорог и использования лесотранспортных средств является весьма актуальной.

В порядке постановки данная проблема обсуждалась в работах [1, 5], но в них не рассматривались математические аспекты решения этой задачи, очевидно, из-за трудоемкости вычислений. Онащение лесных предприятий современными персональными ЭВМ позволяет по-новому взглянуть на эту проблему. При наличии соответствующего методического и программного обеспечения составление перспективных планов рубок леса в условиях ЛЗП значительно упрощается, а многовариантное машинное решение гарантирует оптимальность и точность конечного результата.

На последовательность освоения лесосек оказывают влияние их взаимное расположение и срок примыкания каждой лесосеки  $t_n$ . На рис. 1, а, б показан порядок освоения шести ( $N = 6$ ) лесосек с различным расположением относительно друг друга и приведены варианты очередности их освоения в виде графов перехода. Для простоты рассуждений считаем, что каждый год вырубается одна лесосека и на лесосеках имеются равные запасы леса.

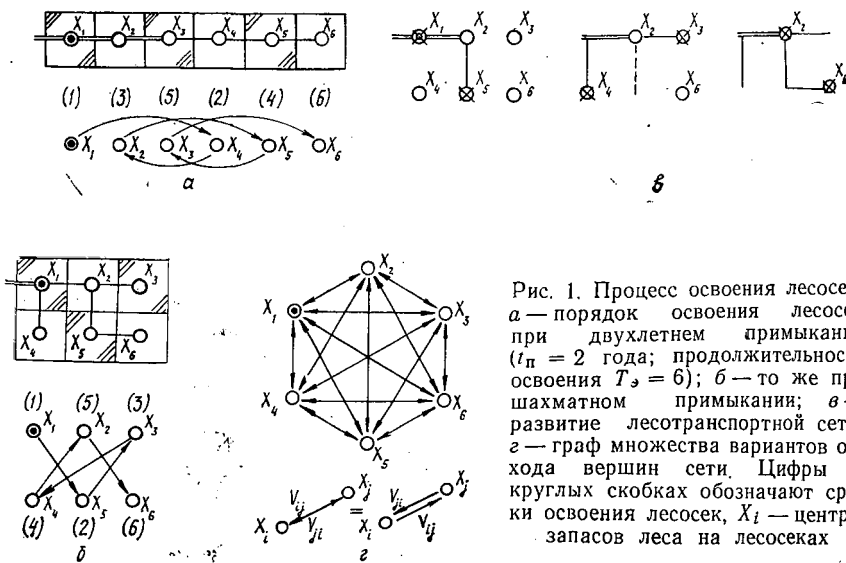


Рис. 1. Процесс освоения лесосек: а — порядок освоения лесосек при двухлетнем примыкании ( $t_n = 2$  года; продолжительность освоения  $T_s = 6$ ); б — то же при шахматном примыкании; в — развитие лесотранспортной сети; г — граф множества вариантов обхода вершин сети. Цифры в круглых скобках обозначают сроки освоения лесосек,  $X_i$  — центры запасов леса на лесосеках

Проиллюстрируем процесс развития лесотранспортной сети, связывающей лесосеки с запасами леса  $q_i$ , во времени (рис. 1, в). Рассмотрим вариант транспортного освоения (см. рис. 1, б) и примем следующие допущения: путь низшей категории со сроком службы  $T_y = 1$  год при наращивании грузооборота более  $3q_i$  трансформируются в путь высшей категории; продолжительность освоения лесосек  $T_s = 3$  года; интенсивность освоения  $N_t = 2$  лесосеки в год,  $t_n = 1$ . На рис. 1, в наглядно видно, что на третьем году работы для освоения лесосеки  $X_5$  выполняется повторное строительство пути на участке  $X_5 - X_6$ .

С методологической точки зрения проблема определения очередности освоения лесосек может быть сведена к новой модификации из-

вестной задачи о коммивояжере [4] с характерными ограничениями и нулевыми переменными. Рассмотрим замкнутый симметричный граф с вершинами  $X_1, X_2, \dots, X_N$ , представляющий множество вариантов обхода вершин по одному разу, и попытаемся найти гамильтонов контур из условия минимума суммарного веса образующих его дуг при исходной вершине  $X_N (X_1)$  (рис. 1, 2). Пусть  $x_{ij}$  — двоичная переменная,  $C_{ij}$  — суммарные затраты. При этом выполняются следующие условия:  $x_{ij} = 1$  ( $i, j = 1, 2, \dots, N$ ), если контур содержит дугу  $V_{ij}(X_i, X_j)$  и  $x_{ij} = 0$  ( $i, j = 1, 2, \dots, N$ ) — в противном случае.

Дуги графа на рис. 1, 2, исходящие из пункта примыкания  $X_1$ , отображают процесс прокладки транспортных путей до промежуточных вершин  $X_2 - X_6$  и перемещение до них лесотранспортных средств в холостом режиме. Дуги, соединяющие промежуточные вершины, означают процесс перехода между ними через исходный пункт  $X_1$ . Например, дуга  $V_{24}(X_2, X_4)$  включает перевозку запаса леса  $q_2$  из вершины  $X_2$  в пункт примыкания  $X_1$ , затем строительство путей и холостое перемещение лесотранспортных средств до вершины  $X_4$ . Дуги, заканчивающие цикл в исходной вершине  $X_1$ , отображают процесс вывозки леса из промежуточных вершин в пункт примыкания.

Представим задачу коммивояжера в математической форме:

$$\min F = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N C_{ij} x_{ij}. \quad (1)$$

При «выезде» из вершины

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} = 1 \quad (j = 1, 2, \dots, N); \quad (2)$$

при «приезде»

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, N). \quad (3)$$

$C_{ij} = \infty$ , если нет связи между  $i$  и  $j$ .

Величина  $C_{ij}$  опреляется как сумма трех видов затрат:

$$C_{ij} = C_{ij}^1 + C_{ij}^2 + C_{ij}^3,$$

где  $C_{ij}^1$  — затраты на заготовку  $q_i$  запаса леса в  $i$ -й лесосеке,

$$C_{ij}^1 = \sum_{t \in N} A_t q_t \sum_{t=1}^{T_3} x_{it};$$

$C_{ij}^2$  — затраты на перебазирование машин и оборудования из  $i$ -й лесосеки до следующих лесосек,

$$C_{ij}^2 = \sum_{t \in N} C_t q_t x_{it};$$

$C_{ij}^3$  — затраты на ремонт и содержание в исправном состоянии транспортных путей на участке от  $i$ -й точки до точки  $X_N$ ,

$$C_{ij}^3 = \sum_{t \in N} S_t q_t \left[ N - 1 + \sum_{k=1}^{T_3} (z_{ik} - v_{ik}) \right];$$

$$z_{ik} = \prod_{t=1}^{T_3} (1 - x_{it}); \quad v_{ik} = \prod_{t=1}^{T_3} (1 - x_{i(N+1-t)}).$$

Решение уравнений (1) — (3) должно выполняться при следующих ограничениях:

$$1 - \sum_{t=1}^{T_3} x_{it} \leq z_{ik} \leq 1 - \sum_{t=1}^{T_3} x_{it}/T_3; \quad (4)$$

$$1 - \sum_{t=1}^{T_3} x_{i(N+1-t)} \leq v_{ik} \leq 1 - \sum_{t=1}^{T_3} x_{i(N+1-t)}/T_3; \quad (5)$$

$$\sum_{j \in u_i} x_{jt}/|u_i| \leq x_{it} \leq \sum_{j \in u_i} x_{jt} \text{ при } \forall t, \forall i \in D; \quad (6)$$

$$\sum_{t=1}^{T_3} x_{it} \leq 1 \text{ при } \forall i \in N; \quad (7)$$

$$\sum_{t=T_3}^{T_3-t_{ij}-1} (x_{it} - x_{jt}) \text{ при } \forall T_3=1, N \text{ и } \forall (i, j) \in B; \quad (8)$$

$$q_i \leq \sum_{i \in N} q_{it} x_{it} \leq Q_i. \quad (9)$$

В выражениях (1) — (9) приняты обозначения:  $A_i$  — затраты на заготовку 1 м<sup>3</sup> леса на  $i$ -й лесосеке;  $C_i$  — удельные затраты (на 1 м<sup>3</sup>) на переоборудование машин и оборудования;  $S_i$  — удельные усредненные затраты на ремонт и содержание дорог, связывающих вершину  $X_N$  с  $i$ -й лесосекой;  $u_i$  — множество вершин, связанных транспортными путями с  $i$ -й вершиной;  $D$  — множество вершин  $i$ , для которых  $u_i \neq \emptyset$ ;  $B$  — множество пар  $(i, j)$ , которые являются соседними,  $i, j \in N$ ;  $t_{ij}$  — срок примыкания для соседних лесосек  $(i, j) \in B$ ;  $q_i, Q_i$  — минимальный и максимальный объемы заготовки леса в  $t$ -м году,  $q_i$  — запас леса на  $i$ -й лесосеке, предполагаем  $N \cap D = \emptyset$ ;  $x_{it}$  — булева переменная (если в  $t$ -м году производится заготовка леса на  $i$ -й лесосеке, то  $x_{it} = 1$ , а в остальных случаях  $x_{it} = 0$ ;  $\forall$  — квантор общности («для всех»);  $\Pi$  — произведение;  $\cap$  — пересечение.

Условие  $C_{ij} = \infty$  исключает возможность появления в оптимальном решении переменной  $x_{it} = 1$ , не имеющей смысла. Выражение (2) предусматривает, что гамильтонов цикл включает только один «выезд»

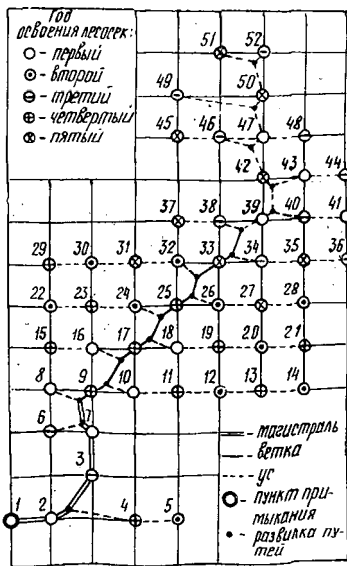


Рис. 2. Динамика освоения лесосек (1 — 52 — порядковые номера лесосек)

из каждой вершины, соответственно (3) требует одного «приезда» в любую вершину.

В выражениях (4) и (5) накладываются ограничения соответственно переменным  $z_{ik}$  и  $v_k$  [3], а (6) служит для контроля за сроками примыкания лесосек. Уравнение (7) подчеркивает, что каждая лесосека за весь срок освоения лесосырьевой базы может быть вырублена только один раз, а (8) — что из каждой пары лесосек ( $i, j$ ) в течение срока их примыкания может быть вырублена только одна лесосека, (9) ограничивает годовые объемы заготовки леса.

Для вычисления реальных задач обоснования очередности освоения лесосек и разработки плана рубок на перспективу нами составлены алгоритм и программы на языке Фортран, реализуемые на ЭВМ ЕС-1033 и ПЭВМ типа IBM PC AT/XT и входящие в программный комплекс для оптимизации лесосечно-транспортного процесса [2]. Это позволило решить несколько задач по поиску лучших вариантов размещения и освоения лесосек в природно-производственных условиях ЛХТПО «Марилес». На рис. 2 показан оптимальный вариант освоения лесосек, расположенных на территории лесосырьевой базы Волжского ЛК. Решение получено при следующих исходных условиях:  $N = 52$  шт.;  $T_s = 5$  лет;  $t_n = 2$  года;  $N_t = 10-11$  лесосек в год; допускается шахматное примыкание лесосек.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Виногородов Г. К. Лесосечные работы.— М.: Лесн. пром-сть, 1972.— 238 с. [2]. Гордеев С. М., Иванов Г. А., Третьяков В. В. Система автоматизированного проектирования процесса лесосечно-транспортного освоения лесосырьевой базы.— Йошкар-Ола: МарПИ, 1989.— 4 с. [3]. Исследование операций. Методологические основы и математические методы.— М.: Мир, 1984.— С. 712. [4]. Кофман А., Анри-Лабордер А. Методы и модели исследования операций.— М.: Мир, 1974.— 431 с. [5]. Нестеров В. Г. Общее лесоводство.— М.; Л.: Гослесбумиздат, 1954.— 655 с.

Поступила 12 мая 1991 г.

УДК 621.43

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКСИЧНОСТИ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

А. Т. ГЕРАСИМОВ

Инженерно-строительный институт (г. Санкт-Петербург)

В настоящее время в лесной промышленности все больше используется автотранспорт с дизельными силовыми установками. Древесина перевозится автопоездами с лесоперевалочных баз непосредственно потребителю, который находится в городской черте. В странах с высококоразвитой промышленностью и высоким уровнем автомобилизации проблема защиты атмосферного воздуха от токсичных выбросов выросла до уровня неотложных социальных проблем. Автомобильный транспорт, наряду с промышленностью, является главным виновником значительного загрязнения атмосферы. В США доля токсичных веществ, выбрасываемых в атмосферу автомобилями, составляет 60 %, в странах Европы 30...40 % [13].

При неудержимом росте автомобильного транспорта выхлопные газы становятся основными загрязнителями атмосферы городов, где сосредоточена большая часть автомобилей. Опасность воздействия выхлопных газов увеличивается вследствие того, что вредные их компоненты выбрасываются непосредственно в атмосферу, окружающую лю-