

ления зараженности ельников корневой губкой // Применение новых химических и биологических методов борьбы с вредителями и болезнями леса.— М.: МЛТИ, 1971.— Т. 2.— С. 164—168. [17]. Bach W. Forest dieback; extent of damages and control strategies // *Experientia*.— 1985.— Vol. 41, N 9.— P. 1095—1104. [18]. Johnson M., Theander O. Changes in sapwood of roots of Norway spruce attacked by *Fomes annosus* P. L. // *Physiology Plantarum*.— 1974.— Vol. 30, N 3.— P. 218—225. [19]. Schimitschek E. Grundzüge der Waldhygiene.— Hamburg; Berlin: Verlag Paul Parey, 1969.— 167 S. [20]. Schmidt-Vogt H. Die Fichte.— Hamburg; Berlin: Verlag Paul Parey, 1977.— Bd 1.— 647 S.

Поступила 23 февраля 1987 г.

УДК 630*43

РАСЧЕТ МАРШРУТОВ АВИАПОЖАРНОГО ПАТРУЛИРОВАНИЯ ЛЕСОВ КАК ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

В. А. ГЕРАСИМОВ, Г. А. ДОРРЕР

Вычислительный центр СО АН СССР в г. Красноярске
Сибирский технологический институт

При охране лесов с помощью летательных аппаратов (самолетов и вертолетов) совершается периодический облет охраняемой территории по установленным маршрутам, осмотр возникающих и действующих пожаров и в случае необходимости — высадка оперативных групп. Затраты на авиатрулирование составляют значительную часть расходов службы авиалесоохраны, и проблема оптимизации маршрутов достаточно актуальна. При разработке маршрутов летательных аппаратов (ЛА) возникает, во-первых, необходимость выбора наиболее эффективных базовых маршрутов, во-вторых, задача их оперативной корректировки в соответствии с изменением пожароопасной ситуации на охраняемой территории.

Критерии эффективности маршрутов могут быть различными: максимум осматриваемой площади территории (или ее наиболее пожароопасной части); максимальный коэффициент полезности маршрута [3]; максимальная вероятность обнаружения пожара при ограниченной длине маршрута; минимальная длина маршрута при заданном уровне контроля охраняемой территории и др. Ввиду большого числа факторов, учитываемых при выборе маршрутов, окончательное решение принимает лицо, ответственное за планирование полетов, а математическое и программное обеспечение этой задачи должно быть достаточно гибким и допускать диалог.

Настоящая работа посвящена расчету оптимальных маршрутов ЛА при авиатрулировании лесов. Рассматриваются математическая постановка и варианты технологической схемы решения задачи по выбору оптимальных маршрутов. Такая задача может быть включена в состав подсистемы оперативного управления АСУ территориальными базами и оперативными отделениями авиалесоохраны.

Исходная информация для решения задач оперативной корректировки маршрутов ЛА должна задаваться в виде функции риска возникновения пожаров для каждого участка охраняемой территории. Эта функция определяется тремя факторами: характеристиками лесных горючих материалов, состоянием погоды и вероятностью появления источников огня в лесу. Возможны различные подходы к определению этой функции [6—8, 10]. Так, в качестве функции риска может использоваться пространственная плотность распределения вероятности возникновения пожаров. Возможна экспертная оценка этой функции, определяющая относительную пожароопасность и влажность различных

участков. В случае, когда функция риска неизвестна, ее можно принять постоянной для всей территории, и тогда маршрут ЛА выбирается из условия осмотра максимальной части территории. Для дальнейшего изложения выбор конкретного подхода несуществен, однако при рассмотрении численного примера мы исходим из методики, изложенной в [7, 8].

Постановка задачи. Имеется карта-схема охраняемой территории D , для которой на расчетный период задана функция риска возникновения пожаров $\rho(x, y)$, где $(x, y) \in D$ — координаты точки на карте. Карта разбита на J участков. Это могут быть кварталы, группы смежных и близких по характеристикам кварталов или иным способом выделенные участки. Для произвольного j -го участка, занимающего область $S_j \subset D$ с площадью $A(S_j)$, может быть вычислена средняя величина риска:

$$R_j = \iint_{S_j} \rho(x, y) dx dy / A(S_j), \quad j = 1, \dots, J. \quad (1)$$

В дальнейшем величина R_j считается сосредоточенной в точке с координатами (x_j, y_j) , которая является геометрическим центром области S_j . Если $R_j > \rho_{кр}$, где $\rho_{кр}$ — значение риска, принятое за критическое, то j -й участок называется критическим.

Обозначим Γ линию маршрута ЛА, а длину этого маршрута — $L(\Gamma)$. Если l — радиус обзора местности с ЛА, то область, осматриваемую с маршрута Γ , обозначим $S(\Gamma, l)$.

Требуется найти такой маршрут Γ , который начинается и заканчивается в данной точке (аэродроме) и представляет собой замкнутую ломаную, содержащую не более N звеньев ($N \ll J$), узлы которой совпадают с центрами выделенных участков, и ограниченную по общей длине величиной L^0 (т. е. $L(\Gamma) \leq L^0$). Маршрут оценивается следующими безразмерными критериями:

$$F_1 = 1 - \prod_{j=1}^J \left\{ 1 - R_j \frac{A(S_j \cap S(\Gamma, l))}{A(S_j)} \right\} \rightarrow \max; \quad (2)$$

$$F_2 = \frac{\iint_{S(\Gamma, l)} \max\{0, \rho(x, y) - \rho_{кр}\} dx dy}{\iint_D \rho(x, y) dx dy} \rightarrow \max; \quad (3)$$

$$F_3 = F_2 / (L(\Gamma) / L^0) \rightarrow \max. \quad (4)$$

Критерий F_1 используют в том случае, когда $\rho(x, y)$ имеет смысл пространственной плотности распределения вероятности возникновения пожаров. Он оценивает вероятность того, что на осмотренной территории будет обнаружен хотя бы один пожар.

Второй критерий оценивает относительную долю участков со значением риска не меньше критического, осмотренных с маршрута Γ . При $\rho = \text{const}$ и $\rho_{кр} = 0$ этот критерий обеспечивает осмотр максимальной площади лесной территории.

Критерий F_3 оценивает эффективность использования маршрута ЛА, т. е. значение второго критерия, приходящееся на единицу длины маршрута.

В ряде случаев представляет интерес решение двойственной задачи: найти минимальную по длине ломаную Γ , содержащую не более N звеньев и обеспечивающую требуемый уровень контроля, т. е. значение критерия $F_2 \geq F^0$, где F^0 — заданное число. Могут учитываться также дополнительные ограничения: наличие точек, над которыми обязан пройти маршрут ЛА (например, действующие пожары), а также участки территории, над которыми полеты запрещены.

Решение задачи. Для решения многокритериальной задачи (2) — (4) вводим обобщенный критерий

$$F_k = \alpha_1 F_1 + \alpha_2 F_2 + \alpha_3 F_3 \rightarrow \max, \quad (5)$$

где коэффициенты α_i определяют относительную значимость каждого из критериев ($\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$). Выбирая эти коэффициенты, руководитель формирует требования к маршруту.

Сформулированную задачу по выбору N -звенной ломаной, оцениваемой критериями (2) — (4), рассматриваем как задачу дискретного оптимального управления с дискретными множествами управляющих воздействий, в которой оценка качества проводится в конце фазовой траектории, т. е. в задачу терминального типа [9]. В работе [4] подробно изложена модификация алгоритма [2], разработанная для рассматриваемой задачи. Основные моменты этого алгоритма состоят в следующем. На первом этапе с помощью схемы селекции [2, 5] формируется опорное решение, которое затем оптимизируется методом покомпонентного варьирования [2, 9].

Процесс решения задачи в производственных условиях может быть следующим. Получив вечерний прогноз о погоде, рассчитывают опорные варианты. Затем оптимизируют наиболее перспективное решение по критерию (5) или по минимуму длины маршрута в случае решения двойственной задачи. Реализация всего расчета требует значительных затрат машинного времени (десятки минут на ЭВМ средней производительности). Все найденные варианты маршрутов вместе со стандартными хранятся на магнитных носителях. После поступления утренних сведений о погоде время для выработки решения жестко ограничено. В том случае, когда прогноз оправдывается, используют маршрут, найденный по вечерним данным, в противном случае из множества вариантов маршрутов, хранимых после вечернего расчета, выбирают лучший по соответствующему критерию. Предусмотрен учет влияния ветра на вектор скорости ЛА.

Программная реализация. Программное обеспечение задачи написано на языке PL/1 для ЭВМ типа ЕС. Максимальное количество узлов J составляет 5 000. В процессе реализации алгоритмов для сокращения времени счета предусмотрена структуризация множества участков. При этом участки объединяют в непересекающиеся области. Расчет критериев (2) — (5) вдоль маршрута Γ осуществляют в два этапа. На первом этапе определяют области, прилегающие к ломаной и находящиеся в пределах обзора. На втором этапе для точек, лежащих в найденных областях, вычисляют значения критериев. Время счета в процессе решения задачи на ЭВМ ЕС-1022 при количестве областей, равном 200, и для 5 000 исходных точек составляет 20...25 мин (расчет опорных вариантов и оптимизации по заданному критерию). При этом собственно оптимизация опорного решения занимает 5...6 мин.

Поступающие в настоящее время в авиалесоохрану ЭВМ типа СМ-1600 по вычислительным возможностям незначительно уступают ЭВМ ЕС-1022, таким образом, появляется техническая возможность для оперативного решения рассматриваемой задачи.

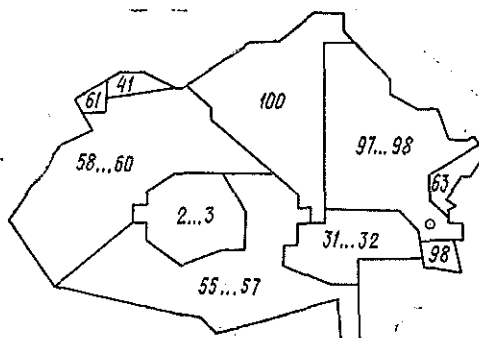


Рис. 1

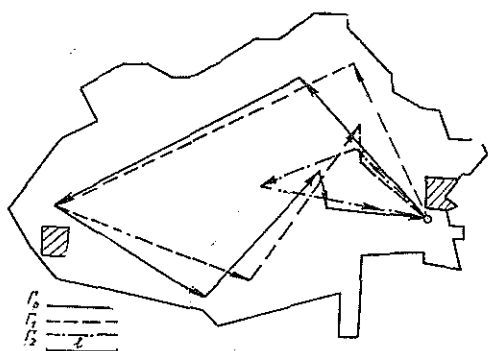


Рис. 2

Ограничение на длину маршрута принято равным 100 относительным единицам, тогда длина исходного маршрута Γ_0 составила 82 единицы, Γ_1 —97, Γ_2 —32 единицы.

Для расчета взвешенного критерия (5) использовали коэффициенты $\alpha_1 = 0,2$; $\alpha_2 = 0,4$; $\alpha_3 = 0,4$. Значение этого критерия на исходном маршруте Γ_0 равно 154, а на оптимальном по критерию F_4 (т. е. на Γ_1)—251. Ограничение на уровень контроля критической зоны при решении двойственной задачи было задано равным 35 %. При этом исходный маршрут Γ_0 обеспечивал уровень контроля 40 %, оптимальный по длине Γ_2 —36 %.

Проведенные расчеты показывают, что при оптимизации критерия (5) происходит его увеличение на 50...60 % по сравнению со стандартными маршрутами. Уменьшение длины маршрута при решении двойственной задачи составляло 40...50 % по отношению к длине стандартного маршрута.

Таким образом, использование методов оптимизации при разработке маршрутов авиапожарного патрулирования леса открывает возможности для повышения эффективности контроля и снижения затрат на авиапатрулирование. Особенно значительного снижения затрат можно ожидать при совместной оптимизации маршрутов нескольких оперативных отделений. Однако эти расчеты требуют специальных организационных мер для получения результатов в приемлемые сроки.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Бокач М. Н., Василевский В. В., Доррер Г. А. Система оперативного прогноза пожарной опасности в лесах // Горение и проблемы тушения пожаров: Матер. 7 Всесоюз. конф.—М.: ВНИИПО, 1981.—С. 44—46. [2]. Герасимов В. А. Оптимизация управления на дискретных множествах / ВЦ СО АН СССР.—Красноярск, 1982.—17 с.—Деп. в ВИНТИ 22.01.82, № 316—82. [3]. Головин В. И. Пути повышения эффективности авиационной охраны лесов от пожаров // Современные вопросы охраны лесов от пожаров и борьбы с ними.—М.: Лесн. пром-сть, 1965.—С. 226—271. [4]. Доррер Г. А., Герасимов В. А., Демченко С. А. Расчет оптимальных маршрутов летательных аппаратов при пожарном патрулировании лесов // Методы и средства борьбы с лесными пожарами: Сб. науч. тр.—М.: ВНИИЛМ, 1985.—С. 47—58. [5]. Ивахненко А. Г., Зайченко Ю. П., Дмитров В. Д. Принятие решений на основе самоорганизации.—М.: Сов. радио, 1976.—280 с. [6]. Коровин Г. Н., Покрывайло В. Д., Солодовников Н. И. Анализ и моделирование статистической структуры поля горимости лесов.—Л.: ЛенНИИЛХ, 1984.—64 с. [7]. Курбатский Н. П., Дорогов В. И., Доррер Г. А. Прогнозирование лесных пожаров с помощью ЭВМ // Лесн. хоз-во.—1976.—№ 7.—С. 51—55. [8]. Курбатский Н. П., Доррер Г. А., Дорогов В. И. Расчет распределения источников пожаров в лесу // Лесн. хоз-во.—1978.—№ 7.—С. 76—78. [9]. Моисеев Н. Н. Элементы теории оптимальных систем.—М.: Наука, 1975.—526 с. [10]. Deeming J. E. et al. National Fire-Danger-Rating System.—USDA Forest Serv. Res. Paper RM-84.—Fort Collins, 1972.—165 p.

Поступила 19 января 1987 г.

УДК 630*232.315.4

**О НЕКОТОРЫХ ПОКАЗАТЕЛЯХ
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛЕСНЫХ СЕМЯН**

Л. Т. СВИРИДОВ

Воронежский лесотехнический институт

Физико-механические свойства лесных семян являются исходными данными для выбора и обоснования эффективной технологической схемы процесса их обработки и для определения ряда конструктивно-технологических параметров семеочистительных машин. Большинство исследований [1, 3, 5, 6] относится к изучению показателей обескрыленных семян и лишь в отдельных работах [4] имеются некоторые данные о свойствах лесных семян с крылатками.

Мы изучали объемные массы, размеры и углы естественного откоса семян сосны и ели обыкновенной, лиственницы сибирской, кленов остролистного и ясенелистного, ясеней зеленого и обыкновенного, вяза мелколистного.

Для изучения физико-механических свойств использовали семена: сосны обыкновенной урожая 1977—1978 гг., полученные из Сомовского мехлесхоза Воронежской области, ели обыкновенной урожая 1980—1981 гг. — из Гатчинского лесхоза Ленинградской области, лиственницы урожая 1979—1980 гг. — из Краснодарского края и лиственных пород урожая 1978—1980 гг., собранные в естественных насаждениях Воронежской области. Изучали свойства семян в естественном их состоянии и после обработки на семеочистительной машине МОС-1.

По каждой породе отбирали средние образцы, т. е. выделяли навески и составляли исходные образцы. Эти образцы хранили в стеклянных сосудах с герметическими крышками. Влажность семян соответствовала складской (7...9 %) и определялась высушиванием в сушильном шкафу, в соответствии с условиями, установленными ГОСТ 13056.3—86 [2].

Объемную массу семян, т. е. массу семян в единице объема, определяли при помощи литровой пурки с падающим грузом, состоящей из мерки, наполнителя, цилиндра с воронкой, ножа и весов с разновесами. Повторность замеров для каждой породы 40—50-кратная.

Таблица 1

Порода	\bar{x}	σ	$\sigma_{\bar{x}}$	C	P
	г/дм ³			%	
Семена с крылатками					
Сосна обыкновенная	123,2	3,80	0,537	3,08	0,43
Ель обыкновенная	175,5	1,32	0,242	0,75	0,14
Лиственница сибирская	314,5	3,93	0,72	1,25	0,23
Клен остролистный	98,56	1,56	0,22	1,58	0,23
» ясенелистный	88,3	1,82	0,29	2,06	0,33
Ясень зеленый	90,83	2,31	0,33	2,54	0,36
» обыкновенный	133,42	2,95	0,417	2,21	0,31
Вяз мелколистный	28,72	0,998	0,141	3,48	0,49
Обескрыленные семена					
Сосна обыкновенная	483,7	1,23	0,194	0,25	0,03
Ель обыкновенная	469,8	5,25	0,96	1,11	0,2
Лиственница сибирская	419,7	8,87	1,62	2,11	0,39
Клен остролистный	296,5	2,13	0,34	0,73	0,11
» ясенелистный	249,4	1,50	0,237	0,6	0,09
Ясень зеленый	226,2	1,38	0,218	0,61	0,09
» обыкновенный	305,1	3,73	0,59	1,22	0,19
Вяз мелколистный	510,7	1,68	0,266	0,32	0,05