

М.И. КАРТЕРИС, П.А. МАТЕВОСЯН, К.А. ШАГИНЯН

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Рассматривается методика, математическая модель и алгоритм решения задачи оптимального расходования средств и ресурсов на охрану лесного хозяйства от пожаров.

Ключевые слова: математическая модель, оптимизация, управление ресурсами, противопожарная охрана, вероятность.

Как известно [1-4], лесные пожары наносят значительный ущерб народному хозяйству, в том числе лесоводству и экологии окружающей среды. Для охраны леса и своевременного предотвращения лесных пожаров применяется ряд средств и мероприятий. Однако, так как затраты на эти мероприятия весьма значительны, использование выделяемых ресурсов для охраны леса от пожаров следует осуществлять по возможности рационально.

В настоящей статье предлагаются методика, математическая модель и алгоритм решения задачи оптимального расходования средств и ресурсов на охрану лесного хозяйства от пожаров. В качестве критерия оптимизации принимается условие минимизации ущерба от возможных пожаров в лесном хозяйстве.

При разработке математической модели учитывалась возможность использования средств и мероприятий, применяемых для охраны леса от пожара, в частности, в Греции на полуострове Ситония: охранные башни (вышки) оперативного наблюдения и оповещения; охранные мобильные бригады; очистка леса от валежника, старых сухих веток и деревьев; разъяснительная работа с населением; ограждение лесных участков забором и др.; наблюдение за лесом с помощью авиации; наблюдение за лесом с помощью спутников.

Математическая модель рассматриваемой задачи управления, в общем случае, включает целевую функцию вида

$$y - (\mathcal{E}^B + \mathcal{E}^{OX} + \mathcal{E}^{OL} + \mathcal{E}^P + \mathcal{E}^{OP} + \mathcal{E}^A + \mathcal{E}^C) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где y - ущерб от возможного лесного пожара (потеря древесины, ухудшение экологии, затраты средств на тушение пожара и др.), *т. руб.*; \mathcal{E}^B - эффект от использования башен оперативного оповещения, приводящий к уменьшению ущерба, *т. руб.*; \mathcal{E}^{OX} - эффект от работы бригад охраны лесного хозяйства, *т. руб.*; \mathcal{E}^{OL} - эффект, связанный с очисткой леса от валежника, сухих веток и деревьев, *т. руб.*; \mathcal{E}^P - эффект от разъяснительной работы с населением по противопожарной охране леса, *т. руб.*; \mathcal{E}^{OP} - эффект от ограждения леса, *т. руб.*; \mathcal{E}^A , \mathcal{E}^C - эффект от наблюдения за лесом, соответственно, с помощью авиации и спутников, *т. руб.*

В качестве условия ограничения имеем балансовое уравнение расходования заданных ограниченных ресурсов на охранные мероприятия и средства вида:

$$Z = Z^B + Z^{OX} + Z^{OL} + Z^P + Z^{OGP} + Z^A + Z^C, \quad (2)$$

где Z - выделенные ресурсы для охраны лесного хозяйства от пожаров, т. руб; Z^B , Z^{OX} , Z^{OL} , Z^P , Z^{OGP} , Z^A , Z^C - затраты, соответственно, на сооружение и эксплуатацию охранных башен, охранные бригады, очистку леса, разъяснительную работу с населением, ограждение леса, авиационное и спутниковое наблюдение.

Слагаемые целевой функции (1) могут быть приближенно представлены в виде нелинейных зависимостей:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}^B &= \varphi_1(N^B) \approx \alpha_{11}N^B - \alpha_{12}(N^B)^2, \\ \mathcal{E}^{OX} &= \varphi_2(N^{OX}) \approx \alpha_{21}N^{OX} - \alpha_{22}(N^{OX})^2, \\ \mathcal{E}^{OL} &= \varphi_3(S^{OL}) \approx \alpha_{31}S^{OL} - \alpha_{32}(S^{OL})^2, \\ \mathcal{E}^P &= \varphi_4(T^P) \approx \alpha_{41}T^P - \alpha_{42}(T^P)^2, \\ \mathcal{E}^{OGP} &= \varphi_5(L^{OGP}) \approx \alpha_{51}L^{OGP} - \alpha_{52}(L^{OGP})^2, \\ \mathcal{E}^A &= \varphi_6(T^A) \approx \alpha_{61}T^A - \alpha_{62}(T^A)^2, \\ \mathcal{E}^C &= \varphi_7(T^C) \approx \alpha_{71}T^C - \alpha_{72}(T^C)^2, \end{aligned} \quad (3)$$

где N^B - число охранных башен; N^{OX} - число охранных бригад; S^{OL} - площадь леса, очищенного от валежника, сухих веток и деревьев; T^P - суммарное число часов работы с населением по противопожарной охране; L^{OGP} - длина ограждения лесного хозяйства; T^A , T^C - число часов наблюдения за лесным хозяйством с помощью авиации и спутников за расчетный период.

Функциональные зависимости (3), а также соответствующие коэффициенты α_{ij} устанавливаются по данным статистики и на основе экспертных оценок. Аналогично (3), для слагаемых формулы (2) можно написать функциональные зависимости вида

$$\begin{aligned} Z^B &= f_1(N^B) \approx \beta_1 N^B, \quad Z^{OX} = f_2(N^{OX}) \approx \beta_2 N^{OX}, \\ Z^{OL} &= f_3(S^{OL}) \approx \beta_3 S^{OL}, \quad Z^P = f_4(T^P) \approx \beta_4 T^P, \\ Z^{OGP} &= f_5(L^{OGP}) \approx \beta_5 L^{OGP}, \quad Z^A = f_6(T^A) \approx \beta_6 T^A, \\ Z^C &= f_7(T^C) \approx \beta_7 T^C, \end{aligned} \quad (4)$$

где $\beta_i (i = \overline{1,7})$ - нормативные коэффициенты затрат, соответственно, на одну охранную башню, одну охранную бригаду, один гектар очистки леса, один час разъяснительной работы с населением, один километр ограждения лесного хозяйства, один час авиационного и спутникового наблюдения.

Рассматриваемая математическая модель включает также технические условия ограничения в виде неравенств:

- на число целесообразного использования охранных башен:

$$0 \leq N^B \leq N_{\max}^B; \quad (5)$$

- на длину ограждения лесного хозяйства:

$$0 \leq L^{\text{ОГР}} \leq L_{\text{max}}^{\text{ОГР}}. \quad (6)$$

Все остальные параметры модели могут иметь ограничения из-за соответствующих ресурсных или технических условий. Математическая модель (1)-(6) относится к классу задач нелинейного математического программирования. Для ее реализации, в частности, удобно применять метод неопределенных множителей Лагранжа [5].

При решении рассматриваемой оптимизационной задачи некоторые из рассмотренных охранных мероприятий могут быть не использованы. При этом соответствующие слагаемые в (1) и (2) будут равны нулю.

Как отмечалось, выделяемые на охрану лесов ресурсы ограничены, поэтому до реализации уравнений целесообразно предварительно выделенные средства и ресурсы рациональным образом распределить между отдельными лесными хозяйствами региона. Согласно информации, в базе данных географической информационной системы (GIS) [6] и, в частности, на основе статистических данных по полуострову Ситония, пожары в различных лесных хозяйствах, а также в разное время года имеют различную частоту. Так, число лесных пожаров за 10 лет (1985-1994 гг.) на полуострове Ситония зарегистрировано 81, из которых за летние сезоны было 69, в осенне-весенние сезоны - 10, за зимние сезоны - 2. Кроме того, установлено, что в летние периоды из-за человеческого фактора было зарегистрировано 42 пожара, из-за молнии - 22, из-за электрического разряда в линиях электропередач - 4 и из-за автомашины - 1.

На основе анализа накопленных статистических данных установлено также, что часто лесные пожары возникают при повышенной температуре окружающей среды, пониженной влажности, плохой очистке леса, плохой охране и др.

Для разграничения лесных хозяйств по степени пожарного риска можно применить предлагаемую нами вероятностную оценку:

$$P = P_b P_T Q^{\text{ОХ}} (P^n + P^m + P^{\text{Э}} + P^a) \left(\sum_{j=1}^m P_j D_j \right), \quad (7)$$

где P - вероятность возникновения лесного пожара в рассматриваемом лесном хозяйстве в соответствующий сезон года; P_b - вероятность сухой погоды с влажностью $V \leq V^{\text{min}}$ (для полуострова Ситония имеем $V^{\text{min}} = 30\%$ влажности); P_T - вероятность теплой погоды с температурой окружающей среды $t > t^{\text{min}}$ (для п-ва Ситония имеем $t^{\text{min}} = 16^\circ \text{C}$); $Q^{\text{ОХ}}$ - вероятность плохой охраны леса (на основе предварительного анализа принято $0,2 < Q^{\text{ОХ}} < 1$, причем, если $Q^{\text{ОХ}} = 1$, то охрана леса полностью бездействует, а при $Q^{\text{ОХ}} = 0,2$ охрана леса функционирует достаточно хорошо); m - число различных типов деревьев в лесу; P_j - вероятность загорания дерева j -й породы (для сосны $P_c = 0,8$, для лиственного дерева $P_{\text{л}} = 0,5$, для высохшего дерева $P_v = 0,95$ и др.); D_j - долевая часть j -го типа деревьев в лесном хозяйстве $\left(\sum_{j=1}^m D_j = 1 \right)$; $P^n, P^m, P^{\text{Э}}, P^a$ - вероятность

загорания леса, соответственно, из-за человеческого фактора, молнии, электрического разряда в линиях электропередач, автомашин.

Формула (7) была применена для установления зон пожарного риска на полуострове Ситония. Все параметры формулы определены на основе десятилетнего накопленного статистического материала. В результате расчетов полуостров Ситония был разделен на две лесные зоны с разной степенью пожарного риска, в соответствии с чем рекомендовано распределить выделенные для охраны леса ресурсы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аэрокосмические методы в охране природы и в лесном хозяйстве / Под ред. В.И.Сухих и С.Г. Сямщина.–М.: Лесная промышленность, 1979.- С. 35-152.
2. Воробьев Ч.И., Мухамедшин К.Д., Деветкин Л.М. **Лесное хозяйство мира.- М.: Лесная промышленность, 1984.- С. 8-95.**
3. Экономико-математическое моделирование лесохозяйственных мероприятий: Сб. ст. – Л.: Изд. Ленингр. НИИ лесного хозяйства, 1980.- С. 55-57.
4. **Телицын Г.П.** Лесные пожары, их предупреждение и тушение в Хабаровском крае.-М.: Лесная промышленность, 1988.- С. 5-72.
5. **Корн Г. и Корн Т.** Справочник по математике для научных работников и инженеров / Пер. с англ.- М.: Наука, 1978.- С. 420-425.
6. International Workshop, Sattelite Technology and GIS For Mediterranean Forest Mapping and Fire management, 4th-6th November, 1993, Edited by **P.I. Kennedy, M. Karteris**, ECSC-EC-EAEC Brussels. Luxemburg, 1994 Printed in Italy. - P. 34-56.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 30.11.1999.

Մ.Ի. ՔԱՐԹԵՐԻՍ, Պ.Ա. ՄԱԹԵՎՈՍՅԱՆ, Կ.Հ. ՇԱՀԻՆՅԱՆ

**ԱՆՏԱՌԱՅԻՆ ՏՆՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ՀԱԿԱՀՐԴԵԶՍՅԻՆ ՊԱՇՏՊԱՆՈՒԹՅԱՆ ՌԵՍՈՒՐՍՆԵՐԻ
ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ԼԱՎԱՐԿՈՒՄԸ**

Ներկայացվում է անտառային տնտեսությունում հրդեհից պաշտպանվելու համար նախատեսվող միջոցների և ռեսուրսների լավագույն օգտագործման խնդրի լուծման մաթեմատիկական մոդելը և ալգորիթմը:

M.I. CARTERIS, P.A. MATEVOSSYAN, K.H. SHAHINYAN

CONTROL OPTIMIZATION OF FORESTRY ANTIFIRE RESOURCES

The method, mathematical model and algorithm to optimal expenditure problem solving of means and resources forestry antifire protection are considered.