
БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ МЕТОДИКИ ВЫБОРА ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОВЕРОК ПРОТИВОПОЖАРНОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ОРГАНАМИ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПОЖАРНОГО НАДЗОРА

О.А. Рыбин, доктор технических наук;

В.В. Попов, кандидат военных наук, доцент;

А.Н. Нестругин.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Статья посвящена разработке комплексной методики выбора значений параметров проведения проверок противопожарного состояния объектов различного назначения в условиях ограничений.

Ключевые слова: потенциально опасные объекты, безопасность, государственный пожарный надзор, чрезвычайная ситуация, Парето-оптимальное множество

DEVELOPMENT OF COMPLEX METHODS OF SELECTING VALUES PARAMETERS INSPECTIONS OF FIRE FIGHTING WITH-STANDING OBJECTS BODIES OF THE STATE FIRE SUPERVISION

O.A. Rybin; V.V. Popov; A.N. Nestrugin.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article is devoted to the development of integrated methods of choice of parameter values of conducting inspections of fire-prevention condition of objects of various purpose, in terms of restrictions.

Keywords: potentially dangerous objects, security, state fire control, emergency situation, a Pareto optimal set

Одним из основных направлений деятельности органов государственного пожарного надзора (ГПН) является надзор за соблюдением требований пожарной безопасности федеральными органами исполнительной власти, органами исполнительной власти субъектов РФ, органами местного самоуправления, организациями, а также должностными лицами, гражданами РФ в порядке, установленном законодательством РФ.

Очевидно, что с точки зрения затраченных ресурсов предотвратить пожар эффективнее, нежели ликвидировать его последствия. И несмотря на положительную динамику снижения общего количества пожаров, а также количества погибших и пострадавших от данных пожаров, материальный ущерб всё-таки растёт.

Одним из действенных инструментов ГПН является проверка надзорных объектов, позволяющая как предупредить пожары, так и выявить общие тенденции, связанные с нарушениями в этой области. Однако анализ статистических данных показывает, что очевидной зависимости ранее перечисленных показателей от количества проводимых проверок нет, следовательно, простое увеличение числа проверок эффекта не даст. С учётом

этого, а также с существующими ограничениями по срокам и периодичности проверок, возможностями органов ГПН возникает актуальная задача – повышение эффективности планирования проведения проверок, с целью предупреждения пожаров и как следствие – снижения их общего количества.

В рамках проводимых исследований задача определения параметров проверок является частной задачей, которая требует научного подхода для её решения.

В этой связи предлагается, на основе анализа статистики и результатов моделирования формировать прогноз о качественном составе потенциально опасных объектов, на основании которых рассчитать весовые коэффициенты «опасности» надзорных объектов различного типа.

Учитывая существующие ограничения, формируется множество решений «сценариев» параметров проведения проверок (ПП), включающих значения параметров проверки: типы и количество проверяемых объектов (перечень) и возможные сроки их проверки, привязанные к определённым периодам, носящим сезонный характер (отопительный сезон, сезон отпусков и т.п.).

Решением задачи определения значений параметров ПП является множество Парето-оптимальных решений, из которого выбирается единственный вариант значения параметров ПП надзорных объектов (компромиссное решение), то есть определяются множества: $\Pi_1(T_{TO})$ – множество параметров, характеризующих периодичность ПП надзорных объектов и $\Pi_2(V_{TO})$ – множество параметров, характеризующих количество и типы надзорных объектов.

Таким образом, необходимо определить такое время начала ПП и объём надзорных объектов, при которых значение величины предотвращённого ущерба будет максимально ($C_{пруц}$) при минимуме приведенных средних удельных затрат на проверку ($C_{уд}$).

При этом определение $C_{пруц}$ может осуществляться различными способами от расчёта балансовой стоимости проверяемого объекта, до некоего среднего эмпирического значения этой величины.

Опишем формальную постановку задачи выбора, позволяющую осуществлять одновременный выбор моментов начала и объёмов надзорных объектов.

Будем считать заданными:

- $\Lambda\{L\} = \{l\}$ – множество дат начала ПП надзорных объектов, где l – даты начала проверки; L – мощность множества Λ ;
- $B = \{b_1, \dots, b_j, \dots, N\}$ – множество надзорных объектов;
- N – количество надзорных объектов;
- N_i – тип надзорных объектов i -го вида, $i = \overline{1, M}$;
- M – количество видов надзорных объектов;
- V_i – максимально возможное количество одновременно проверяемых объектов надзора i -го вида за один период.

Введем булеву переменную x_{lj} , являющуюся переменной в задаче выбора значений параметров ПП:

$$x_{lj} = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-й объект надзора подвергается проверке в } l\text{-й период,} \\ 0 & \text{- в противном случае.} \end{cases}$$

Тогда матрица $X_{\|L, N\|}$ является матрицей размерности $L \times N$. Она однозначно определяет вариант выбора значений параметров ПП надзорных объектов:

$$X_{\|L,N\|} = \|x_{lj}\|_L^N,$$

где x_{lj} – элемент матрицы $X_{\|L,N\|}$, являющийся булевой переменной.

Задача определения значений параметров ПП формулируется следующим образом.

Необходимо выбрать такой вариант значений параметров ПП $X_{\|L,N\|}$, при котором достигаются оптимальные значения выбранных показателей качества (ПК):

$$\begin{cases} C_{\text{прод}}(X_{\|L,N\|}) \rightarrow \max_{X_{\|L,N\|} \in X_{\|L,N\|}^o} \\ C_{\text{уд}}(X_{\|L,N\|}) \rightarrow \min_{X_{\|L,N\|} \in X_{\|L,N\|}^o} \end{cases}, \quad (1)$$

При ограничениях:

$$\sum_{l \in \Lambda} \sum_{j=1}^N x_{lj} = N; \quad (2)$$

$$\sum_{l \in \Lambda} x_{lj} = 1; \quad \forall i = \overline{1, N}; \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N_i} x_{lj} \leq v_i; \quad \forall l \in \Lambda, \forall i \in M. \quad (4)$$

Задача в постановке (1–4) относится к классу многокритериальных задач целочисленного программирования, а точнее к задаче комбинаторного булева программирования. Решением задачи является множество недоминируемых

(Парето-оптимальных) решений $\left\{ X_{\|L,N\|}^{нд} \right\}$. Для выбора единственного варианта значений

параметров ПП необходимо решить задачу нахождения компромиссного варианта $X_{\|L,N\|}^к$

из множества $\left\{ X_{\|L,N\|}^{нд} \right\}$.

Для решения задачи (1–4) предлагается комплекс алгоритмов, позволяющий получить единственный вариант решения задачи определения значений параметров ПП надзорных объектов. Комплекс алгоритмов включает в свой состав:

- алгоритм сужения множества анализируемых вариантов;
- алгоритм формирования множества недоминируемых вариантов;
- алгоритм выбора компромиссного варианта значений параметров ПП.

Алгоритм сужения множества анализируемых вариантов значений параметров ПП

Начальным этапом решения многокритериальной задачи является сужение множества анализируемых вариантов за счет отсеивания заранее неперспективных вариантов значений параметров ПП. Процесс сужения множества анализируемых вариантов осуществляется в несколько этапов.

Этап 1. Решается задача определения оптимальных по критериям минимума затрат и максимума предотвращённого ущерба моментов начала ПП l^* для всех надзорных объектов, тип которых имеет максимальный весовой коэффициент, что позволяет сформировать множество дат ПП $\Lambda^* = \bigcup l^*$, $\Lambda^* \subset \Lambda$, где l^* – календарный день начала ПП надзорного объекта, при котором достигается оптимальное значение ПК. Для поиска оптимальных моментов начала ПП надзорного объекта, по выбранным ПК, использован алгоритм безусловной оптимизации, основанный на сочетании метода «золотого сечения» и последовательной параболической интерполяции. Применение данного алгоритма на начальном этапе решения задачи определения рациональной организации ПП надзорных объектов позволяет уменьшить количество анализируемых вариантов. Это достигается за счет использования информации об оптимальных моментах начала ПП надзорных объектов, что позволяет определять такие моменты начала ПП для объектов, одновременно подвергаемых ПП, которые близки к оптимальным. Рассмотрим подробнее алгоритм безусловной оптимизации времени начала очередной ПП надзорного объекта.

Для нахождения оптимального значения $l^* = T_o^*$ по каждому из введенных критериев необходимо решить относительно T_o уравнения:

$$\begin{aligned} \frac{dK_z(T_o)}{dT_o} &= 0; \\ \frac{dC_{yo}(T_o)}{dT_o} &= 0. \end{aligned}$$

Среди методов одномерной безусловной оптимизации наиболее распространенными являются метод Фибоначчи и метод «золотого сечения» [1–3]. Данные методы основаны на последовательном вычислении значений аргументов анализируемых функций с учетом информации, получаемой на предыдущих шагах. Для использования метода Фибоначчи требуется априорное задание числа итераций, которое определяет длину конечного интервала неопределенности. При применении этого метода для поиска точки безусловного экстремума нескольких функций и по различным исходным данным возникают сложности, связанные с необходимостью вычисления каждый раз требуемого числа шагов. Поэтому более предпочтительно использование метода «золотого сечения», который позволяет избавиться от введения в алгоритм оптимизации дополнительных операций, связанных с вычислением числа шагов. При реализации этого метода в качестве исходных данных задаются параметры, непосредственно определяющие требуемые конечные интервалы неопределенности. Так как данный метод предназначен для поиска минимума функции, то для поиска T_o^* по критерию минимума средних удельных затрат $C_{y\partial}^*$ на проведение ПП он применяется непосредственно. Для нахождения T_o^* по критерию максимума предотвращённого ущерба $C_{прущ}^*$ с помощью метода «золотого сечения» вначале определяется минимум ущерба:

$$C_{yщ} = 1 - C_{прущ}(T_o), \quad (5)$$

а затем вычисляется максимум $C_{прущ}^*$. Значение аргумента, доставляющего минимум функции (5), будет соответствовать оптимальному моменту начала очередного ПП по критерию максимума $C_{прущ}^*$.

Этап 2. Из множества Λ^* исключаются даты, в которые проверка надзорных объектов запрещена. Таким образом, снижается количество анализируемых вариантов значений параметров ПП, так как $card(\Lambda^*) \leq L$.

Этап 3. Все рассматриваемые надзорные объекты группируются по типам. Для этого осуществляется перегруппировка множества номеров столбцов матрицы $X_{\|L,N\|}$ таким

образом, чтобы $\{1, 2, \dots, N\} = \bigcup_{i=1}^M N_i$; где M – количество видов надзорных объектов.

Этап 4. Формируется суженное множество вариантов значений параметров ПП $X_{\|L,N\|}^c$. В дальнейшем за L принимается мощность суженного множества возможных дат

начала очередных ПП надзорных объектов $L = card(\Lambda^*)$.

Таким образом, предложенная методика определения оптимальных параметров ПП позволит снизить величину предотвращённого ущерба путём проведения предупредительных проверок, на наиболее подверженных возгораниям объектах в определённые периоды. Налагаемые на эти множества ограничения по количеству и срокам ПП, позволяет учесть сочетание метода «золотого сечения» и параболической интерполяции [1], когда минимизируемая функция в области минимума аппроксимируется параболой, минимум которой определяется по аналитической формуле.

Литература

1. Сухарев А.Г., Тимохов А.В., Федоров В.В. Курс методов оптимизации. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 368 с.
2. Струченков В.И. Методы оптимизации в прикладных задачах. М.: Солон-Пресс, 2009. 320 с.
3. Струченков В.И. Методы оптимизации. СПб.: Экзамен, 2005. 256 с.