

**МЕТОДИКА ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПО АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫМ
ФОРМИРОВАНИЯМ**

**Доктор техн. наук Р.А. Дурнев,
кандидат техн. наук Е.В. Свиридок, А.С. Гусева
ФГБУ РАРАН**

**И.В. Жданенко
ФГБУВНИИГОЧС (ФЦ)**

Актуальной является задача распределения аварийно-спасательной техники по различным аварийно-спасательным формированиям таким образом, чтобы максимизировать производительность аварийно-спасательных работ. Для решения данной задачи дискретной оптимизации может использоваться метод динамического программирования. На основе указанного метода разработана методика оптимального распределения аварийно-спасательной техники, которую возможно использовать в интересах программно-целевого планирования развития технического оснащения аварийно-спасательных сил.

Ключевые слова: аварийно-спасательные формирования, аварийно-спасательная техника, аварийно-спасательные работы, производительность, динамическое программирование, оптимальное распределение.

**METHODOLOGY OF OPTIMAL DISTRIBUTION OF EMERGENCY RESCUE
EQUIPMENT BY EMERGENCY RESCUE FORMATIONS**

**Dr. (Tech.) R.A. Durnev, Ph.D. (Tech.) E.V. Sviridok, A.S. Guseva
FGBU RARAN**

**I.V. Zhdanenko
FC VNI GOCHS EMERCOM of Russia**

The task of distributing emergency rescue equipment to various emergency rescue formations in such a way as to maximize the productivity of emergency rescue operations is urgent. Dynamic programming method can be used to solve this discrete optimization problem. On the basis of this method, a methodology has been developed for the optimal distribution of emergency rescue equipment, which can be used in the interests of program-targeted planning for the development of technical equipment of emergency rescue forces.

Keywords: emergency rescue formations, emergency rescue equipment, emergency rescue operations, productivity, dynamic programming, optimal distribution.

Нередко возникают задачи распределения аварийно-спасательной техники (АСТ) по различным аварийно-спасательным формированиям (АСФ) таким образом, чтобы максимизировать производительность аварийно-спасательных работ (АСР).

Для решения такой дискретной оптимизационной задачи может использоваться метод динамического программирования, предназначенный для многошаговых (многоэтапных) процессов. Такими этапами могут быть финансовые года, интервалы координат, отдельные объекты и т.п. Пошаговая оптимизация зачастую упрощает решение переборных задач – вместо единственного решения одной сложной задачи много раз решается несколько более простых. При этом управление на каждом шаге выбирается не такое, чтобы увеличить эффективность этого шага, а с учетом всех будущих его последствий на всех предстоящих шагах.

В основе метода динамического программирования положен следующий принцип оптимальности [1] – каково бы ни было состояние системы в результате i шагов, необходимо выбрать управление на ближайшем шаге так, чтобы оно в совокупности с оптимальным управлением на всех последующих шагах, приводило к максимальному выигрышу на всех оставшихся шагах, включая данный. В символьном виде данный принцип можно записать следующим образом:

$$W_i(x_i) = \max_{U_i} \{w_i(S, U_i) + W_{i+1}(\varphi_i(S, U_i))\}, \quad (1)$$

где U_i - возможные управления на i -том шаге;

$w_i(S, U_i)$ - выигрыш (доход, эффект) на i -том шаге, зависящий от состояния системы S и примененного управления на этом шаге U_i ;

$W_{i+1}(\varphi_i(S, U_i))$ - условный выигрыш, получаемый на всех последующих шагах, начиная с $i+1$, и зависящий от состояния системы и примененного управления на предыдущем, i -том, шаге;

φ_i - функция состояния системы на i -том шаге.

В процессе оптимизации управления (а распределение средств по формированиям – тоже управление) методом динамического программирования многошаговый процесс проходит дважды – от конца к началу и от начала к концу. Первый раз находятся условные оптимальные управления и условные оптимальные выигрыши за оставшуюся часть процесса. Второй раз – интерпретируются результаты расчетов первого этапа, и находится безусловное оптимальное управление, состоящее из оптимальных шаговых управлений.

Для представления порядка применения метода динамического программирования [2] при распределении АСТ по АСФ ниже приведен упрощенный пример расчета. Предположим, что на базе хранения есть шесть образцов однородной АСТ, которую необходимо выдать на оснащение АСФ. Возможны различные принципы, определяющие порядок распределения – всем поровну, в зависимости от того, сколько уже подобной техники есть в формировании, лучшим АСФ больше (меньше) АСТ и т.п. Большой интерес представляет принцип, на основании которого можно сформулировать оптимизационную задачу – распределить АСТ по АСФ так, чтобы максимально увеличилась их суммарная производительность при выполнении АСР. Под данной производительностью можно понимать, например, количество кубометров завалов разрушенных зданий, разбираемых для деблокирования пострадавших в единицу времени.

Пусть даны следующие исходные данные по увеличению производительности, к примеру, четырех АСФ при различном количестве АСТ (общее число которых на базе равно, например, семи):

Таблица 1

Изменение производительности АСФ при различном количестве АСТ

Количество АСТ	Производительность i -того АСФ, м ³ /ч			
	w_1	w_2	w_3	w_4
1	0,6	0,7	0,5	1,0
2	0,7	0,8	0,7	1,1
3	0,8	0,9	0,9	1,3
4	0,9	1,2	1,1	1,3
5	1,0	1,3	1,2	1,3
6	1,0	1,3	1,4	1,3
7	1,0	1,3	1,4	1,3

Примечание: после некоторого количества АСТ производительность перестает расти, что связано с невозможностью одновременного обеспечения фронтом работ всей АСТ.

Основная расчетная таблица будет иметь следующий вид:

Таблица 2

Форма расчетной оптимизационной таблицы

Количество АСТ, n	$i=4$ (АСФ 4)		$i=3$ (АСФ 3)		$i=2$ (АСФ 2)		$i=1$ (АСФ 1)	
	U_4	$W_4(U_4)$	U_3	$W_3(U_3)$	U_2	$W_2(U_2)$	U_1	$W_1(U_1)$
1								
2								
...								
7								

В табл. 2 под шагом понимаются АСФ, которые оснащаются различным количеством АСТ. Само количество для конкретных АСФ – это возможное управление на i -том шаге U_i . Условный оптимальный выигрыш (суммарная производительность АСФ) на i -том шаге W_i определяется как максимальная сумма производительностей на этом шаге и всех последующих шагах. Например, максимальная производительность на третьем шаге, т.е. для АСФ 3, равна:

$$W_3 = \max(w_3(U_3) + W_4(U_3)), \tag{2}$$

где U_3 - количество АСТ, выделяемое АСФ 3.

Для заполнения табл. 2 составляется расчетная табл. 3:

Таблица 3

Форма таблицы для промежуточных расчетов

U_i , количество АСТ	$I-U_i$, остаток АСТ	$w_i(U_i)$, производительность для данного количества АСТ	$W_{i+1}(I-U_i)$, производительность от оставшегося количества АСТ	$w_i(U_i) + W_{i+1}(I-U_i)$, суммарная производительность
...

Таблица 2 заполняется последовательно – для последнего шага (АСФ 4) перебираются комбинации АСТ в АСФ, для предпоследнего и т.п. с учетом данных табл. 1 и результатов, получаемых в табл. 3.

Решение на последнем шаге вынужденное – выделяется вся АСТ, при этом производительность АСФ 4 определяется из 5-го столбца табл.1:

Количество АСТ, n	$i=4$ (АСФ 4)		$i=3$ (АСФ 3)		$i=2$ (АСФ 2)		$i=1$ (АСФ 1)	
	U_4	$W_4(U_4)$	U_3	$W_3(U_3)$	U_2	$W_2(U_2)$	U_1	$W_1(U_1)$
1	1	1,0						
2	2	1,1						
3	3	1,3						
4	4	1,3						
5	5	1,3						
6	6	1,3						
7	7	1,3						

Для третьего шага составляется ряд расчетных таблиц, некоторые из которых представлены ниже:

а) выделена одна единица АСТ

U_3 , количество АСТ	$I-U_3$, остаток АСТ	$w_3(U_3)$, производительность для данного количества АСТ	$W_4(I-U_3)$, производительность от оставшегося количества АСТ	$w_3(U_3) + W_4(I-U_3)$, суммарная производительность
1	0	0,5	0	0,5
0	1	0	1,0	1,0

Максимальное значение суммарной производительности $w_3(U_3) + W_4(I-U_3) = 1,0$, для него $U=0$. Проставляем эти значения в основной расчетной таблице:

Количество АСТ, n	$i=4$ (АСФ 4)		$i=3$ (АСФ 3)		$i=2$ (АСФ 2)		$i=1$ (АСФ 1)	
	U_4	$W_4(U_4)$	U_3	$W_3(U_3)$	U_2	$W_2(U_2)$	U_1	$W_1(U_1)$
1	1	1,0	0	1,0				
2	2	1,1						
3	3	1,3						
4	4	1,3						
5	5	1,3						
6	6	1,3						
7	7	1,3						

б) выделено две единицы АСТ

U_3 , количество АСТ	$I-U_3$, остаток АСТ	$w_3(U_3)$, производительность для данного количества АСТ	$W_4(I-U_3)$, производительность от оставшегося количества АСТ	$w_3(U_3) + W_4(I-U_3)$, суммарная производительность
2	0	0,7	0	0,7
1	1	0,5	1,0	1,5
0	2	0	1,1	1,1

заполняются следующие две ячейки расчетной таблицы:

Количество АСТ, n	$i=4$ (АСФ 4)		$i=3$ (АСФ 3)		$i=2$ (АСФ 2)		$i=1$ (АСФ 1)	
	U_4	$W_4(U_4)$	U_3	$W_3(U_3)$	U_2	$W_2(U_2)$	U_1	$W_1(U_1)$
1	1	1,0	0	1,0				
2	2	1,1	1	1,5				
3	3	1,3						
4	4	1,3						
5	5	1,3						
6	6	1,3						
7	7	1,3						

и т.д.

В результате расчетов таблица заполняется последовательно – сверху-вниз, слева-направо. Промежуточный вариант данных расчетов показан ниже:

Количество АСТ, n	$i=4$ (АСФ 4)		$i=3$ (АСФ 3)		$i=2$ (АСФ 2)		$i=1$ (АСФ 1)	
	U_4	$W_4(U_4)$	U_3	$W_3(U_3)$	U_2	$W_2(U_2)$	U_1	$W_1(U_1)$
1	1	1,0	0	1,0	0	1,0		
2	2	1,1	1	1,5	1	1,7		
3	3	1,3	2	1,7	2	1,8		
4	4	1,3	3	1,9	1	2,4		
5	5	1,3	4	2,1	1	2,6		
6	6	1,3	3	2,2	1	2,8		
7	7	1,3	4	2,4	4	2,9		

Для первого шага (последние два столбца) заполняется только последняя строка, т.к. состояние системы (количество АСТ в наличии на базе) полностью известно и равно семи. Для этого количества составляется последняя таблица для промежуточных расчетов:

U_1 , количество АСТ	$I-U_1$, остаток АСТ	$w_1(U_1)$, производительность для данного количества АСТ	$W_2(I-U_1)$, производительность от оставшегося количества АСТ	$w_1(U_1) + W_2(I-U_1)$, суммарная производительность
7	0	1,0	0	1,0
6	1	1,0	1,0	2,0
5	2	1,0	1,7	2,7
4	3	0,9	1,8	2,7
3	4	0,8	2,4	3,2
2	5	0,7	2,6	3,3
1	6	0,6	2,8	3,4
0	7	0	2,9	2,9

С учетом этого расчетная таблица принимает окончательный вид:

Количество АСТ, n	$i=4$ (АСФ 4)		$i=3$ (АСФ 3)		$i=2$ (АСФ 2)		$i=1$ (АСФ 1)	
	U_4	$W_4(U_4)$	U_3	$W_3(U_3)$	U_2	$W_2(U_2)$	U_1	$W_1(U_1)$
1	1	1,0	0	1,0	0	1,0		
2	2	1,1	1	1,5	1	1,7		
3	3	1,3	2	1,7	2	1,8		

Количество АСТ, n	$i=4$ (АСФ 4)		$i=3$ (АСФ 3)		$i=2$ (АСФ 2)		$i=1$ (АСФ 1)	
	U_4	$W_4(U_4)$	U_3	$W_3(U_3)$	U_2	$W_2(U_2)$	U_1	$W_1(U_1)$
4	4	1,3	3	1,9	1	2,4		
5	5	1,3	4	2,1	1	2,6		
6	6	1,3	3	2,2	1	2,8		
7	7	1,3	4	2,4	4	2,9	1	3,4

В результате последовательной оптимизации 4-го, 3-го, 2-го и 1-го шагов получены все возможные рекомендации по оптимальному управлению и безусловный оптимальный выигрыш, равный 3,4 м³/ч. Рассматривая результаты оптимизации в обратном направлении - от первого шага к четвертому - получено наилучшее распределение АСТ между АСФ:

- АСФ 1 - 1 единица АСТ;
- АСФ 2 - 1 единица АСТ;
- АСФ 3 - 4 единицы АСТ;
- АСФ 4 - 1 единицы АСТ.

Оно было получено следующим образом:

для АСФ 1 результат единственен (равен 1);

для АСФ 2 осталось $7-1=6$ единиц, в строке с количеством $n=6$ находим значение $U_2=1$;

для АСФ 3 осталось $6-1=5$ единиц, в строке с количеством $n=5$ находим значение $U_3=4$;

для АСФ 4 осталось $5-4=1$ единица, в строке с количеством $n=1$ находим значение $U_4=1$.

Следует отметить, что в ходе промежуточных расчетов могут быть получены одинаковые значения производительности, в этом случае можно выбрать любое, т.к. результат (суммарная производительность) от этого не изменится. В то же время такая вариативность промежуточных решений может потребовать привлечения иных, в том числе субъективных, данных для принятия решения.

Таким образом, приведена методика оптимального распределения АСТ по различным АСФ таким образом, чтобы максимизировать производительность аварийно-спасательных работ (АСР), и конкретный расчетный пример. Указанную методику возможно использовать в интересах программно-целевого планирования развития технического оснащения аварийно-спасательных сил.

Литература

1. Е.С. Вентцель. Исследование операций. М.: Знание. - 1976
2. Е.С. Вентцель Исследование операций: задачи, принципы, методология. М.: Наука. - 1988.

Сведения об авторах

Дурнев Роман Александрович - академик-секретарь секретариата президиума ФГБУ «Российская академия ракетных и артиллерийских наук», доцент, член-корреспондент РАН, адрес учреждения: 107564, г. Москва, 1-я Мясниковская ул., дом 3, стр. 3, контактный телефон: 8 (903) 258-67-16, e-mail: rdurnev@rambler.ru

Жданенко Ирина Васильевна - старший научный сотрудник ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий), адрес учреждения: 121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д.7, контактный телефон 8 (909) 953-56-59, e-mail: izhdanenko@yandex.ru

Свиридок Екатерина Викторовна - советник секретариата Совета главных конструкторов по системе вооружения сухопутной составляющей сил общего назначения ФГБУ «Российская академия ракетных и артиллерийских наук», адрес учреждения: 107564, г. Москва, 1-я Мясниковская ул., дом 3, стр. 3, контактный телефон: 8(926) 935-26-20, e-mail: svkate1@rambler.ru

Гусева Алена Сергеевна - главный специалист отдела организации НИОКР ФГБУ «Российская академия ракетных и артиллерийских наук», адрес учреждения: 107564, г. Москва, 1-я Мясниковская ул., дом 3, стр. 3, контактный телефон: 8(926) 144-67-69, e-mail: kot_alenka@mail.ru

УДК 351.861

DOI: 10.36535/0869-4179-2021-06-3

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ НИЗОВЫХ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В ВЕРХОВЫЕ

Доктор сельхоз. наук, кандидат техн. наук Ю.В. Подрезов
ФБГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)
Московский физико-технический институт

В интересах научно-методического обеспечения работ по совершенствованию деятельности единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС (далее – РСЧС) при организации борьбы с лесными пожарами (далее – ЛП) выполнен актуальный анализ основных особенностей трансформации низовых лесных пожаров в наиболее быстро распространяющиеся верховые ЛП.

Ключевые слова: верховой лесной пожар; горимость лесных насаждений; лес; класс пожарной опасности погодных условий; лесопожарная обстановка; лесная площадь; лесной пожар; низовой лесной пожар; метеоусловия; рельеф; ущерб; чрезвычайные лесопожарные ситуации.

MAIN FEATURES OF TRANSFORMATION OF LOW FOREST FIRES IN UPPER

Dr. of agricultural sciences, Ph.D (Tech) J.V. Podrezov
FC VNI GOCHS EMERCOM of Russia
Moscow Institute of physics and technology (state University)

In the article, in the interests of scientific and methodological support of work to improve the activities of the unified state system for the prevention and elimination of emergencies (hereinafter referred to as RSChS) when organizing the fight against forest fires (hereinafter referred to as LP), the analysis of the main features of the transformation of ground forest fires into the most rapidly spreading riding forest fires is carried out.