

**О НЕКОТОРЫХ СПОСОБАХ РАЦИОНАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ФОРМИРОВАНИЙ
ПО ОБЪЕКТАМ РАБОТ**

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

**И.В. Жданенко
ФГБУВНИИГОЧС (ФЦ)**

Рассмотрен алгоритм, позволяющий при дефиците исходной информации по объектам работ, нормативам их выполнения распределить по ним аварийно-спасательные формирования в целях максимизации доли спасенных пострадавших. Для значительного количества объектов и формирований дополнительно к данному алгоритму сформулирована задача линейного целочисленного программирования.

Ключевые слова: аварийно-спасательные формирования, аварийно-спасательные работы, алгоритм, эффективность, достаточность, линейное целочисленное программирование.

**ON SOME METHODS OF RATIONAL DISTRIBUTION
EMERGENCY RESCUE UNITS
BY OBJECTS OF WORK**

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

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

An algorithm is considered that allows, if there is a shortage of initial information on the objects of work, the standards for their implementation, to distribute emergency rescue formations among them in order to maximize the share of rescued victims. In addition to this algorithm, a linear integer programming problem is formulated for a significant number of objects and formations.

Keywords: emergency rescue formations, emergency rescue operations, algorithm, efficiency, sufficiency, linear integer programming.

Зачастую возникают задачи распределения разнородных аварийно-спасательных формирований (АСФ) по различным объектам аварийно-спасательных работ (ОР) в целях максимизации доли спасенных пострадавших, минимизации затрат на выполнение работ и т.п. При этом в ряде случаев отсутствуют детальные данные по характеристикам таких объектов, нормативам выполнения отдельных приемов и способов аварийно-спасательных работ. Единственно, что доступно для оценки, это информа-

ция по предназначению и конструктивной схеме таких объектов (например, жилое кирпичное 5-этажное здание), а также ориентировочное количество АСФ, обеспеченных фронтом работ в виде, показанном в табл. 1.

Числа в ячейках табл. 1 означают количество АСФ различных типов, необходимое для выполнения работ на объектах. Например, для работ на объекте ОР₂ необходимо пять АСФ₁ или три АСФ₂ или два АСФ₃.

Кроме того, с учетом планирующих документов по развитию системы аварийно-спасательных сил могут быть данные по общему количеству таких АСФ (или по уровню их технической оснащенности), например, по годам (табл. 2).

Таблица 1

Требуемое количество АСФ различных типов для ОР

Объекты работ	Аварийно-спасательные формирования		
	АСФ ₁	АСФ ₂	АСФ ₃
ОР ₁	4	2	2
ОР ₂	5	3	2
ОР ₃	1	1	1
ОР ₄	3	2	1

Таблица 2

Количество АСФ по годам

АСФ	Годы				
	1-ый	2-ой	3-ий	4-ый	5-ый
АСФ ₁	5	6	7	8	14
АСФ ₂	1	1	2	4	9
АСФ ₃	0	0	1	2	7

Эвристический алгоритм распределения АСФ различных типов по различным объектам работ будет включать следующие этапы.

1. Определение важности объектов. Данная процедура может выполняться с учетом предназначения объекта, его важности для экономики, ущерба от временного прекращения функционирования, наличия пострадавших людей и других факторов, установление которых является самостоятельной задачей. При этом возможен как одновременный учет различных показателей важности объектов в различных свертках, так и последовательное сравнение данных объектов, начиная с наиболее и заканчивая наименее значимыми показателями.

2. Определение эффективности АСФ с учетом уровня оснащенности, квалификации спасателей и других факторов.

3. Распределение АСФ от менее эффективных к более эффективным по объектам, начиная с самых важных и заканчивая менее важными.

4. Установление меры (степени) достаточности АСФ для *j*-того объекта (*S_j*) по формуле:

$$S_j = \frac{n_{СП_i}^p}{n_{СП_i}^m}, \quad (1)$$

где $n_{СП_i}^p$ - реальное количество i -тых АСФ, применяемых на объекте;
 $n_{СП_i}^m$ - требуемое количество i -тых АСФ для применения на объекте.

Пример проведения расчетов с учетом указанных этапов представлен ниже.

Предположим, в наличии следующее количество АСФ (см. 3-й год в табл. 2):

$$N_{АСФ_1} = 7, N_{АСФ_2} = 2 \text{ и } N_{АСФ_3} = 1.$$

На 1-ом этапе определено, что объекты в порядке уменьшения важности располагаются следующим образом:

$$ОР_3 - ОР_4 - ОР_1 - ОР_2.$$

В рамках второго этапа АСФ упорядочены от менее к более эффективным:

$$АСФ_1 - АСФ_2 - АСФ_3.$$

В соответствии с 3-им этапом вначале выбирается самый важный объект – ОР₃. Для него требуемое количество АСФ следующее (см. табл. 1):

$$n_{АСФ_1}^m = 1 \text{ или } n_{АСФ_2}^m = 1 \text{ или } n_{АСФ_3}^m = 1.$$

Для менее эффективного АСФ (АСФ₁) из общего их количества (7 ед.) берётся одна единица и по формуле 1 устанавливается мера (степень) достаточности для ОР₃, равная 1/1=1.

В результате количество АСФ становится следующим:

$$N_{АСФ_1} = 7 - 1 = 6, N_{АСФ_2} = 2 \text{ и } N_{АСФ_3} = 1.$$

Для второго по важности объекта ОР₄

$$n_{АСФ_1}^m = 3 \text{ или } n_{АСФ_2}^m = 2 \text{ или } n_{АСФ_3}^m = 1.$$

Для АСФ₁ из оставшегося их количества (6 ед.) выбирается три единицы и устанавливается мера достаточности для объекта ОР₄, равная 3/3=1.

В результате количество АСФ становится следующим:

$$N_{АСФ_1} = 6 - 3 = 3, N_{АСФ_2} = 2 \text{ и } N_{АСФ_3} = 1.$$

Аналогично для третьего по важности объекта ОР₁

$$n_{АСФ_1}^m = 4 \text{ или } n_{АСФ_2}^m = 2 \text{ или } n_{АСФ_3}^m = 2.$$

Если применять АСФ₁, в наличии которых 3 единицы, то мера достаточности для объекта ОР₁ будет равна 3/4=0,75. При использовании АСФ₂ данная мера равна 2/2=1, следовательно, целесообразно выбрать данное АСФ. В результате количество указанных АСФ становится:

$$N_{АСФ_1} = 3, N_{АСФ_2} = 0 \text{ и } N_{АСФ_3} = 1.$$

И, наконец, для последнего по важности объекта ОР₂

$$n_{АСФ_1}^m = 5 \text{ или } n_{АСФ_2}^m = 3 \text{ или } n_{АСФ_3}^m = 2.$$

Количество оставшихся АСФ (3, 0 и 1) не достаточно для того, чтобы провести работы на объекте формированием только одного типа. Поэтому используются остатки АСФ₁ и АСФ₃, в количестве три и одна единица соответственно. В этом случае мера достаточности для объекта ОР₂ равна 3/5+1/2=1,1 (что можно интерпретировать как избыточное применение АСФ). Остаток всех АСФ в 3-ем году равен нулю.

Мера достаточности для всех объектов в *l*-том году (S^l) может находиться, как отношение суммы мер достаточности всех объектов к их количеству:

$$S^l = \frac{\sum_{j=1}^J S_j}{J}, \quad (2)$$

где $j=1,2,\dots,J$ – номера объектов работ (в рассматриваемом примере $J=4$).

Для 3-го года мера достаточности всех объектов больше единицы.

Определенный интерес представляют результаты расчетов по распределению АСФ по ОР в условиях дефицита рассматриваемых формирований. Так, для 1-го года $N_{АСФ_1} = 5, N_{АСФ_2} = 1$ и $N_{АСФ_3} = 0$. Для ОР₃ $n_{АСФ_1}^m = 1$ или $n_{АСФ_2}^m = 1$ или $n_{АСФ_3}^m = 1$. Выбирается АСФ₁ в количестве одной единицы, мера достаточности для объекта равна 1/1=1 и количество АСФ становится следующим: $N_{АСФ_1} = 4, N_{АСФ_2} = 1$ и $N_{АСФ_3} = 0$.

Для ОР₄ $n_{АСФ_1}^m = 3$ или $n_{АСФ_2}^m = 2$ или $n_{АСФ_3}^m = 1$. Для АСФ₁ из оставшегося его количества (4 ед.) выбирается три единицы и устанавливается мера соответствия для объекта ОР₄, равная 3/3=1. Количество АСФ становится: $N_{АСФ_1} = 1, N_{АСФ_2} = 1$ и $N_{АСФ_3} = 0$.

Аналогично для АСФ₁ $n_{АСФ_1}^m = 4$ или $n_{АСФ_2}^m = 2$ или $n_{АСФ_3}^m = 2$. Для работ берутся оставшиеся АСФ₁ и АСФ₂, мера соответствия для данного объекта будет равна 1/4+1/2=0,75.

Для последнего объекта ОР₂ АСФ исчерпаны, поэтому мера соответствия для него равна нулю.

Для 1-го года мера соответствия для всех объектов равна 2,75/4≈0,7.

Для 5-го года, в условиях явного избытка АСФ, они распределяются по объектам следующим образом:

$$\text{для ОР}_1: n_{АСФ_1}^p = 4, n_{АСФ_2}^p = 0 \text{ и } n_{АСФ_3}^p = 0;$$

$$\text{для ОР}_2: n_{АСФ_1}^p = 5, n_{АСФ_2}^p = 0 \text{ и } n_{АСФ_3}^p = 0;$$

для ОР₂: $n_{AC\Phi_1}^p = 5$, $n_{AC\Phi_2}^p = 0$ и $n_{AC\Phi_3}^p = 0$;

для ОР₃: $n_{AC\Phi_1}^p = 1$, $n_{AC\Phi_2}^p = 0$ и $n_{AC\Phi_3}^p = 0$;

для ОР₄: $n_{AC\Phi_1}^p = 3$, $n_{AC\Phi_2}^p = 0$ и $n_{AC\Phi_3}^p = 0$.

Для рассматриваемого года мера соответствия для всех объектов равна единице.

Рассмотренный эвристический алгоритм при дефиците исходной информации по объектам и нормативам работ позволяет рационально распределить по ним АСФ. В то же время очевидно, что применять данный алгоритм целесообразно при небольших количествах объектов работ и аварийно-спасательных формирований. В противном случае целесообразно формулировать данную задачу в качестве задачи линейного целочисленного программирования (ЛЦП) [1,2]. Первоначально данная задача была сформулирована следующим образом:

найти такие x_{ij} (i - тип АСФ, $i=1,2,\dots,I$; j - тип ОР, $j=1,2,\dots,J$), при которых целевая функция

$$\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I a_{ij} x_{ij}, \quad (3)$$

где a_{ij} - величина, обратная количеству АСФ i -того типа, требуемому для ОР j -того типа (в связи с чем умножение её на x_{ij} является фактически мерой соответствия),

обращается в максимум при соблюдении общих ограничений:

$x_{ij} \geq 0$, x_{ij} - целые числа и

$$\begin{array}{lll} x_{11} \leq 4; & x_{21} \leq 2; & x_{31} \leq 2; \\ x_{12} \leq 5; & x_{22} \leq 3; & x_{32} \leq 2; \\ x_{13} \leq 1; & x_{23} \leq 1; & x_{33} \leq 1; \\ x_{14} \leq 3; & x_{24} \leq 2; & x_{34} \leq 1, \end{array} \quad (4)$$

а также ограничений по годам (например, по 1-му)

$$\sum_{j=1}^J x_{1j} \leq 5; \quad \sum_{j=1}^J x_{2j} \leq 1; \quad \sum_{j=1}^J x_{3j} = 0. \quad (5)$$

Недостатком данной формулировки задачи ЛЦП является отсутствие учета важности ОР и АСФ (данный учет возможен через весовые коэффициенты, определяемые экспертным путем).

Приведенные формулы были использованы в программе Excel в надстройке «Поиск решения».

Сравнение результатов расчетов с использованием эвристического алгоритма и ЛЦП по формулам (3-5) приведено в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что результаты не вполне рациональны (см. меру соответствия для объекта ОР₁ для 1-го года). Кроме того, по мере увеличения общего количества АСФ (от 1-го года к 5-му) растет избыточность их количества на объектах, что нерационально при ограниченности фронта работ. Так, для 5-го года их количество превышает потребности в три раза. Это связано с тем, что в табл. 1 отражается их раздельное применение, перечисляемое через союз «или», которое напрямую не учесть в формулировке задачи ЛЦП.

Таблица 3

**Сравнение результатов расчетов с использованием эвристического алгоритма
(в числителе) и ЛЦП (в знаменателе)**

Объекты работ	Аварийно-спасательные формирования			Мера соответствия для объекта
	АСФ ₁	АСФ ₂	АСФ ₃	
1	2	3	4	5
1 год				
ОР ₁	1/1	1/0	0/0	0,75/0,25
ОР ₂	0/0	0/0	0/0	0,00/0,00
ОР ₃	1/1	0/1	0/0	1,00/2,00
ОР ₄	3/3	0/0	0/0	1,00/1,00
3 год				
ОР ₁	0/3	2/1	0/0	1,00/1,25
ОР ₂	3/0	0/0	1/0	1,10/0,00
ОР ₃	1/1	0/1	0/1	1,00/3,00
ОР ₄	3/3	0/0	0/0	1,00/1,00
5 год				
ОР ₁	4/4	0/2	0/2	1,00/3,00
ОР ₂	5/5	0/3	0/2	1,00/3,00
ОР ₃	1/1	0/1	0/1	1,00/3,00
ОР ₄	3/3	0/2	0/1	1,00/3,00

Таблица 4

**Сравнение результатов расчетов с использованием эвристического алгоритма
(в числителе) и ЛЦП (в знаменателе)**

Объекты работ	Аварийно-спасательные формирования			Мера соответствия для объекта
	АСФ ₁	АСФ ₂	АСФ ₃	
1	2	3	4	5
1 год				
ОР ₁	1/1	1/1	0/0	0,75/0,75
ОР ₂	0/0	0/0	0/0	0,00/0,00
ОР ₃	1/1	0/0	0/0	1,00/1,00
ОР ₄	3/3	0/0	0/0	1,00/1,00
3 год				
ОР ₁	0/2	2/1	0/0	1,00/1,00
ОР ₂	3/5	0/0	1/0	1,10/1,00
ОР ₃	1/0	0/1	0/0	1,00/1,00
ОР ₄	3/0	0/0	0/1	1,00/1,00
5 год				
ОР ₁	4/2	0/0	0/1	1,00/1,00
ОР ₂	5/0	0/0	0/2	1,00/1,00
ОР ₃	1/1	0/0	0/0	1,00/1,00
ОР ₄	3/0	0/0	0/1	1,00/1,00

Для того, чтобы избежать избыточного количества АСФ при решении сформулированной задачи ЛЦП для каждого ОР были заданы дополнительные ограничения вида:

$$\sum_{i=1}^I a_{ij} x_{ij} \leq 1. \quad (6)$$

При данных ограничениях мера соответствия для объектов не превышает единицу (т.е. количества реальных и требуемых АСФ максимально близки).

Результаты решения задачи ЛЦП с совместным учетом (3-5) и (6) показаны в табл. 4.

Из табл. 4 видно, что результаты решения уточненной задачи ЛЦП практически совпадают с результатами применения эвристического алгоритма. Более того, решение ЛЦП дает более рациональные результаты с точки зрения исключения избытка АСФ (см. меру соответствия для объекта ОР₂ для 3-го года).

При наличии информации по затратам на содержание и применение АСФ_{*c_i*} целевая функция (3) приобретает вид:

$$\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I c_i x_{ij} \rightarrow \min, \quad (7)$$

при этом используются ограничения $x_{ij} \geq 0$, x_{ij} - целые числа, а также (5) и (6) (с обратным знаком неравенства).

Таким образом, рассмотрен эвристический алгоритм, позволяющий при дефиците исходной информации по объектам и нормативам работ распределить по ним аварийно-спасательные формирования таким образом, чтобы максимизировать долю спасенных пострадавших, минимизировать затраты на выполнение работ. При больших количествах объектов и формирований расчеты с его использованием достаточно трудоемки. Для преодоления данного недостатка сформулирована задача линейного целочисленного программирования, реализованная в программном продукте Excel. Её решение дает более рациональные, по сравнению с эвристическим алгоритмом, результаты с точки зрения минимизации избытка АСФ. При наличии информации по затратам на содержание и применение АСФ распределяются по объектам работ таким образом, чтобы выполнить на них требуемые аварийно-спасательные работы при минимизации суммарных затрат на содержание и применение формирований.

Литература

1. Грешилов А.А. Как принять наилучшее решение в реальных условиях. М.: Радио и связь. - 1991 - 315 с.
2. Курицкий Б.Я. Поиск оптимальных решений средствами Excel 7.0. С.-Пб: ВHV - Санкт-Петербург. - 1997 - 384 с.

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

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

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

УДК 614.8, 621.3, 620.9

DOI: 10.36535/0869-4179-2021-05-9

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПУНКТА ВРЕМЕННОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ПОСТРАДАВШЕГО НАСЕЛЕНИЯ И СПАСАТЕЛЬНЫХ ФОРМИРОВАНИЙ

Доктор техн. наук В.А. Седнев
Академия государственной противопожарной службы МЧС России

На основе анализа практики организации, состояния электроэнергетического жизнеобеспечения и систем инженерного оборудования пунктов временного размещения пострадавшего населения обоснованы: мероприятия и показатели оценки устойчивости электроэнергетического обеспечения пункта временного размещения; основные направления повышения устойчивости функционирования его системы электроснабжения; порядок обоснования ее с учетом вариантов размещения пострадавшего населения; принципы построения и характеристики системы электроснабжения жизнеобеспечения пострадавшего населения и спасательных формирований при размещении в полевых условиях и в населенном пункте, а также пунктов управления. Цель исследования - электроэнергетическое обеспечение пунктов временного размещения пострадавшего населения, обеспечение требуемой его надежности и максимизации эффективности в условиях возможных ресурсных ограничений.

Ключевые слова: пункт временного размещения, пострадавшее население, спасательное формирование, потребители, электроэнергетическое обеспечение, организация, управление.