

## Литература

1. Гаврилов Д.А., Гаврилова Т.С., Преображенский Н.Б. Экспресс-анализ: одним взглядом // Наука из первых рук. 2011. № 4 (40).
2. Крылов А.С., Втюрин А.Н., Герасимова Ю.В. Обработка данных инфракрасной фурье-спектроскопии: метод. пособие. Красноярск: Институт физики СО РАН, 2005.
3. Тарасевич Б.Н. Основы ИК-спектроскопии с преобразованием Фурье. Подготовка проб в ИК-спектроскопии. М.: МГУ, 2012.
4. Ahmadjian M., Brown C.W. Petroleum identification by laser Raman spectroscopy // Analytical Chemistry. 1976. Т. 48. № 8. С. 1 257–1 259.
5. Винарский В.А. Хроматография. Курс лекций в двух частях. Ч. 1: Газовая хроматография. Минск: БГУ, 2002.
6. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. М.: Техносфера, 2009.
7. Гаврилов Д.А. О проведении анализа состава воды в зоне нефтедобычи в реальном масштабе времени // Технологии техносферной безопасности. 2012. № 2. С. 16–16.
8. Rand S.J. Significance of tests for petroleum products. ASTM International, 2003. Т. 1.
9. Головкин В.А., Галушкин А.И. Нейронные сети: обучение, организация и применение // Нейрокомпьютеры и их применение. 2001. Кн. 4.
10. Адаптивное построение иерархических нейросетевых классификаторов / С.А. Доленко [и др.] // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2005. № 1–2. С. 4–11.
11. Speight J.G. Handbook of petroleum product analysis. John Wiley & Sons, 2015.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИНАНСОВЫХ СРЕДСТВ В ИНТЕРЕСАХ ЭФФЕКТИВНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ РАДИОСВЯЗИ В МЧС РОССИИ

**Н.В. Каменецкая, кандидат технических наук, доцент;**

**О.М. Медведева, кандидат технических наук;**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.**

**С.Б. Хитов.**

**Министерство обороны Российской Федерации**

Рассмотрена возможность применения метода динамического программирования при математическом моделировании процесса распределения финансовых средств, обеспечивающего наиболее эффективный обмен информацией в радиосетях МЧС России. Представлены этапы построения математической модели, расчетные формулы. Показан результат применения метода для заданных условий.

*Ключевые слова:* математическое моделирование, математическая модель, финансовые средства, радиосвязь, радиоаппаратура, динамическое программирование

## MODELING OF THE FINANCIAL RESOURCES DISTRIBUTION'S PROCESS IN THE INTERESTS OF EFFICIENT ORGANIZATION OF RADIO COMMUNICATION IN THE EMERCOM OF RUSSIA

N.V. Kamenetskaya; O.M. Medvedeva.

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

S.B. Khitov. Ministry of defense of the Russian Federation

The possibility of using the dynamic programming method in mathematical modeling of the process of allocating financial resources ensuring the most efficient exchange of information

in the radio networks of EMERCOM of Russia is considered. The stages of construction of the mathematical model, calculated formulas are presented. The result of applying the method for the given conditions is shown.

*Keywords:* mathematics modeling, mathematics model, financial resources, radio networks, radio equipment, dynamic programming

В современных условиях в деятельности органов управления МЧС России, обеспечивающих эффективное применение сил и средств, ключевая роль отводится системе связи, основу которой составляет комплекс взаимосвязанных стационарных и подвижных узлов связи пунктов управления, каналов и линий связи МЧС России, а также единой сети электросвязи Российской Федерации, обеспечивающих обмен различными видами информации.

Комплексное использование всех видов связи (проводной радиосвязи (в том числе конвенциональной и транкинговой), радиорелейной и спутниковой) обеспечивает необходимую устойчивость функционирования системы связи МЧС России [1].

Радиосвязь, резервирующая в повседневной деятельности проводные каналы связи на основных направлениях передачи сообщений, при чрезвычайных ситуациях является основной для обмена информацией с оперативными группами, работающими в районах ЧС.

В рамках совершенствования системы радиосвязи перед МЧС России стоит задача обновления и расширения парка средств радиосвязи. В настоящее время отечественными и зарубежными производителями выпускается большое количество средств радиосвязи, обладающих близкими техническими характеристиками, но значительно отличающимися по стоимости. Поэтому тема статьи, посвященная вопросам выбора средств радиосвязи, обеспечивающих эффективное функционирование системы радиосвязи в условиях ограничений на финансирование, является актуальной.

Задача распределения финансовых средств, обеспечивающих наиболее эффективный обмен информацией в радиосетях МЧС России, может быть решена методами математического моделирования, эффективность которого при выработке оптимальных управленческих решений в оперативной деятельности подразделений МЧС России достаточно высока [2–7].

Постановку задачи опишем следующим образом.

На оборудование средствами радиосвязи территориального органа МЧС России (Главного управления МЧС России по субъекту Российской Федерации) выделена определенная сумма финансовых средств, равная  $S$ . Пусть имеются три варианта оснащения органов управления комплектами радиоаппаратуры, имеющих различные характеристики и стоимость. Информация поступает с некоторой интенсивностью  $\lambda_i$  сообщений в единицу времени соответственно ( $i=1, 2, 3$ ) для каждого комплекта радиоаппаратуры. Допустим, что известны средняя длительность приема сообщения каждым комплектом радиоаппаратуры. Также известна средняя стоимость одного комплекта радиоаппаратуры, равная  $c_i$  ( $i=1, 2, 3$ ).

Требуется распределить выделенную сумму финансовых средств так, чтобы обеспечить прием передаваемой информации с наибольшей эффективностью.

Оценка эффективности функционирования систем связи может проводиться как на этапе планирования, так и в процессе их развертывания, эксплуатационного обслуживания и свертывания. На этапе планирования в основном применяется вероятностный подход оценки эффективности системы связи. В ходе эксплуатации системы связи в органы управления постоянно поступает информация о состоянии системы связи и ее элементов. На основании полученной информации проводится статистическая оценка эффективности функционирования системы связи.

В качестве показателя эффективности распределения финансовых средств будем рассматривать вероятность того, что сообщения, поступающие на вход любого комплекта радиоаппаратуры, будут приняты, то есть пропускную способность радиостанций.

Математическую модель разработаем на основе метода динамического программирования (ДП).

Применение метода ДП предполагает представление планируемых действий в виде нескольких этапов, составляющих единый процесс. Управление процессом заключается в выборе на каждом этапе одного из вариантов действий [8–10].

Совокупность действий, избранных для каждого этапа, составляет вариант общей программы действий – стратегию. Метод позволяет выработать программу действий при многоэтапном планировании с обращением заданного показателя эффективности в максимум (минимум).

Метод ДП применим для нахождения оптимальной программы действий, если:

- процесс может быть интерпретирован как многошаговый процесс выбора управляющих параметров;
- процесс определен для любого числа шагов и имеет структуру, не зависящую от числа шагов;
- число параметров, характеризующих состояние процесса (системы) на каждом шаге, не зависит от числа шагов;
- процесс Марковский (то есть отсутствует последствие);
- показатель эффективности (целевая функция) обладает свойством аддитивности или мультипликативности [8].

В основе метода ДП лежит следующий принцип оптимальности: оптимальная стратегия обладает тем свойством, что, каковы бы ни были исходное состояние системы и первоначальный выбор, последующие выборы должны составлять оптимальную программу относительно состояния, полученного в результате первоначального выбора.

Если исследуемый процесс удовлетворяет всем приведенным ранее условиям, для его оптимизации методом ДП необходимо:

- определить, что является шагом процесса, а если процесс непрерывный, то произвести искусственное разбиение на шаги;
- определить параметры, характеризующие систему (вектор состояния), и пределы изменения каждого параметра;
- определить параметры управления (выбор управления), пределы изменения каждого параметра;
- определить функциональную зависимость, указывающую на правило перевода системы из состояния в состояние в зависимости от принятого управления (уравнения процесса);
- с учетом выбранного показателя эффективности (целевой функции) составить функциональное уравнение, математически выражающее принцип оптимальности. В самом общем случае для аддитивного и мультипликативного показателей эффективности эти уравнения имеют вид:

$$f_{i,N}(n_i) = \max_{0 \leq x_i \leq n_i} [M_i(x_i) + f_{i+1,N}(n_i - x_i)];$$

$$f_{i,N}(n_i) = \min_{0 \leq x_i \leq n_i} [q_i(x_i) f_{i+1,N}(n_i - x_i)],$$

где  $n_i$  – вектор состояния;  $x_i$  – вектор управления;  $f_{i,N}$  – экстремальное значение показателя эффективности при оптимальной стратегии на шагах с  $i$ -го до  $N$ -го,  $M_i(x_i)$ ;  $q_i(x_i)$  – значение показателя эффективности на  $i$  шаге при  $x_i$  управлении.

Специфика каждой конкретной задачи сказывается на виде функционального уравнения, на форме целевой функции, числе параметров состояния и управляющих параметров.

Решение задач ДП происходит, как правило, в два этапа.

На первом этапе последовательно с помощью функционального уравнения находятся значения показателя эффективности для всех значений параметров состояния и управляющих параметров сначала для последнего шага, затем для предпоследнего и так далее для всех шагов.

На втором этапе на основании полученных оптимальных значений целевой функции последовательно, начиная с первого шага, находится максимум (минимум) показателя эффективности и соответствующие значения управляющих параметров, а также величины параметров вектора состояния для перехода к следующему шагу. Таким же образом находят величины управляющих параметров на втором, третьем и последующих шагах. Полученная совокупность значений управляющих параметров и будет стратегией, обращающей показатель эффективности в максимум (минимум).

В условиях поставленной задачи процесс распределения финансовых средств можно рассматривать как многошаговый процесс назначения. Число шагов в данном случае равно числу комплектов радиоаппаратуры  $J$ , а состояние системы к каждому шагу определяется оставшимися к данному шагу средствами  $C_j$ . Управляющим параметром является число средств, выделяемых на оборудование данного вида радиоаппаратуры  $x_j$ .

Задача заключается в распределении имеющихся финансовых средств таким образом, чтобы показатель эффективности принимал максимальное значение.

Радиоаппаратура может рассматриваться как система массового обслуживания с ограниченным ожиданием в очереди. Исходя из этого, вероятность приема сообщений  $j$  радиоаппаратурой может быть вычислена по формуле [11]:

$$P_j(x_j) = 1 - \frac{\beta_j \frac{\alpha_j^{n_j}}{n_j!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{s \alpha_j^s}{\prod_{m=1}^s (n_j + m \beta_j)}}{\alpha_j \left[ \sum_{k=0}^{n_j} \frac{\alpha_j^k}{k!} + \frac{\alpha_j^{n_j}}{n_j!} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\alpha_j^s}{\prod_{m=1}^s (n_j + m \beta_j)} \right]},$$

где  $n_j = E \left[ \frac{x_j}{c_j} \right]$  – целое число комплектов радиоаппаратуры  $j$  вида, которое можно оборудовать на выделенные финансовые средства;

$$\alpha_j = \frac{\lambda_j}{\mu_j}; \quad \beta_j = \frac{\nu_j}{\mu_j}; \quad \mu_j = \frac{1}{\tau_j}; \quad \nu_j = \frac{1}{M[T_{ож}],}$$

где  $\lambda$  – плотность поступления заявок (сообщений) в систему;  $\nu$  – плотность «потока уходов» заявки, стоящей в очереди;  $M[T_{ож}]$  – среднее время ожидания заявки в очереди;  $\tau$  – среднее время обслуживания одной заявки;  $P_j(x_j)$  – относительная пропускная способность системы (комплект радиоаппаратуры  $j$  вида).

Относительная пропускная способность системы характеризуется вероятностью того, что заявка, попавшая в систему, будет обслужена [11].

С учетом принятых обозначений, уравнение процесса и функциональное уравнение будут иметь следующий вид:

$$c_{j+1} = c_j - x_j; \quad \sum_{j=1}^J c_j = C;$$

$$f_{j,J}(c_i) = \max_{0 \leq x_j \leq c_j} [P_j(x_j) + f_{i+1,J}(c_j - x_j)].$$

Ниже представлены расчеты для следующих условий поставленной задачи:  $C = 400$  (тыс. руб.);  $c_1 = 25$  (тыс. руб.);  $c_2 = 22$  (тыс. руб.);  $c_3 = 32$  (тыс. руб.);  $\lambda_1 = 24$  (с/ч);  $\lambda_2 = 21$  (с/ч);  $\lambda_3 = 36$  (с/ч);

Вероятности приема сообщений  $j$  комплектом радиоаппаратуры сведены в табл. 1.

Таблица 1. Исходные данные

Количество финансовых средств, тыс. руб.	Вероятность приема сообщений		
	радиоапп. 1 $P_1(x_j)$	радиоапп. 2 $P_2(x_j)$	радиоапп. 3 $P_3(x_j)$
0	0	0	0
100	0,2	0,3	0,2
200	0,3	0,4	0,215
300	0,43	0,55	0,23
400	0,55	0,6	0,26

Поставленная выше задача может быть представлена в виде модели:

$$P(C) = \sum_{k=1}^3 P_k(C_i) \rightarrow \max, \quad i = \overline{1,4};$$

$$\sum_{i=1}^4 C_i \leq 400.$$

Результаты применения метода ДП по этапам оформлены в виде табл. 2, 3.

Таблица 2. Оптимальное управление на втором этапе динамического программирования

Количество финансовых средств, тыс. руб.	Вероятность приема информации			Оптимальное управление на втором этапе
	$P_1(C_i)$	$P_2(C_i)$	$P_{12}(C_i)$	
0	0	0	0	(0,0)
100	0,2	0,3	0,3	(0,100)
200	0,3	0,4	0,5	(100,100)
300	0,43	0,55	0,6	(100,200)
400	0,55	0,6	0,73	(300,100)

Таблица 3. Оптимальное управление на третьем этапе динамического программирования

Количество финансовых средств, тыс. руб.	Вероятность приема информации			Оптимальное управление на втором этапе	Оптимальное управление на третьем этапе
	$P_{12}(C_i)$	$P_3(C_i)$	$P_{123}(C_i)$		
0	0	0	0	(0,0)	(0,0,0)
100	0,3	0,2	0,3	(0,100)	(0,100,0)
200	0,5	0,215	0,5	(100,100)	(0,100,100)
300	0,6	0,23	0,7	(100,200)	(100,100,100)
400	0,73	0,26	0,8	(300,100)	(100,200,100)

Оптимальное решение найдено на последнем этапе метода ДП. Из табл. 3 видно, что прием передаваемой информации с наибольшей эффективностью будет обеспечиваться при следующем распределении имеющихся финансовых средств:

- 100 тыс. руб. необходимо выделить на радиоаппаратуру первого вида;
- 200 тыс. руб. на радиоаппаратуру второго вида,
- 100 тыс. руб. на радиоаппаратуру третьего вида.

Максимальная вероятность приема информации при комплексном использовании рассматриваемой радиоаппаратуры и полученном оптимальном распределении имеющихся финансовых средств составит 0,8.

Таким образом, использование метода ДП позволяет решить задачу оптимального распределения финансовых средств между тремя вариантами выбора радиоаппаратуры, обеспечивающего наиболее эффективный обмен информацией в радиосетях МЧС России.

Подобные расчеты можно проводить и для большего числа средств связи. При этом количество шаговых управлений соответственно увеличивается. Метод ДП, основанный на принципе оптимальности Беллмана [1], может быть использован и при решении других задач оперативной деятельности подразделений МЧС России, например, при решении задачи перераспределения сил и средств при проведении различных тактических и спасательных операций в зонах ЧС [2–7, 12].

### Литература

1. Власов С.В. Основные принципы дальнейшего развития системы связи МЧС России в современных условиях. URL: <https://mchs.informost.ru/2015/pdf/1-1.pdf> (дата обращения: 21.11.2017).
2. Каменецкая Н.В., Кусайло Ф.А., Сиротин В.Г. Нахождение оптимальных маршрутов передвижения спасателей МЧС в зоне ЧС на основе применения теории графов // Современное образование: содержание, технологии, качество. 2016. Т. 2. С. 175–176.
3. Каменецкая Н.В., Медведева О.М., Хитов С.Б. Математическое моделирование при решении задач обоснования структуры и организации функционирования мобильного госпиталя МЧС России // Науч.-аналит. журн. Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России. 2016. № 1. С. 62–67.
4. Каменецкая Н.В., Медведева О.М., Хитов С.Б. Применение методов математического моделирования при решении задачи выявления и оценки радиационной, химической и биологической обстановки в зоне чрезвычайной ситуации // Проблемы управления рисками в техносфере. 2016. № 2 (38). С. 64–69.
5. Каменецкая Н.В., Медведева О.М., Хитов С.Б. Математическое моделирование при планировании мероприятий на проведение взрывных работ на реках в паводковый период // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 6-1. С. 22–27.

6. Применение метода последовательного анализа для моделирования процесса выработки решения в оперативной деятельности МЧС России / Н.В. Каменецкая [и др.] // Проблемы управления рисками в техносфере. 2016. № 3 (39). С. 73–81.
7. Обоснование выбора эффективных тактических приемов по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ методом последовательного анализа / Н.В. Каменецкая [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26. № 5. С. 5–12.
8. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы. М.: Наука, 2009. 207 с.
9. Волгин Н.С., Махров Н.В., Юровский В.А. Исследование операций. Л.: ВМА, 1981. 605 с.
10. Динер И.Я. Исследование операций. Л.: ВМОЛУА, 1969. 606 с.
11. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учеб. 11-е изд., стер. М.: КНОРУС, 2010. 664 с.
12. Калинина Е.С. Применение математических методов в задачах проектирования сложных технических систем // Фундаментальные и прикладные исследования: гипотезы, проблемы, результаты: сб. материалов I Междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск, 2017. С. 64–69.

## **ВЛИЯНИЕ КОМПОНОВОЧНОЙ СХЕМЫ БАЗОВОГО ШАССИ НА ДИНАМИКУ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОДВЕСКАХ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

**К.С. Иванов, кандидат технических наук, доцент;  
А.В. Широхов, кандидат технических наук.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассматривается зависимость влияния примененной компоновочной схемы базового шасси специального автомобиля на значения и характер возникающих динамических нагрузок в подвесках в результате колебательных процессов, а также рекомендации по изменению элементов конструкций в целях снижения данных нагрузок.

*Ключевые слова:* компоновочная схема, виброзащитные системы, вертикальные и угловые колебания, парциальные коэффициенты частот

## **THE RANDOM SEARCH METHOD IN THE SOLUTION OF THE OPTIMIZATION PROBLEM OF SYNTHESIS OF VIBRATION ISOLATION SYSTEMS**

**K.S. Ivanov; A.V. Shirokhov.  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia**

The article discusses the dependence of the impact applied to the layout scheme of the basic chassis of a special vehicle on the values and nature of the arising dynamic loads in suspensions, the result of oscillating processes, and recommendations for change element structures in order to reduce data loads.

*Keywords:* layout diagram, vibration isolation system, vertical and angular oscillations, partial coefficients of frequencies