

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОСТА РАДИАЦИОННО-ХИМИЧЕСКОГО И БИОЛОГИЧЕСКОГО НАБЛЮДЕНИЯ В СИСТЕМЕ МЧС РОССИИ

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

О.М. Медведева, кандидат технических наук;

С.Б. Хитов.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассмотрена возможность применения методов теории массового обслуживания для оценки эффективности функционирования поста радиационно-химического и биологического наблюдения при решении ряда задач радиационного, химического и биологического контроля. Определены показатели эффективности, сделаны расчеты, даны рекомендации на повышение эффективности работы поста в заданных условиях.

Ключевые слова: математическое моделирование, система массового обслуживания, радиационная, химическая и биологическая защита, радиационное, химическое и биологическое наблюдение, радиационный, химический и биологический контроль, эффективность, оценка

APPLICATION OF METHODS OF MATHEMATICAL MODELING FOR ESTIMATION OF FUNCTION'S EFFICIENCY OF RADIATION, CHEMICAL AND BIOLOGICAL MONITORING POST IN SYSTEM OF EMERCOM OF RUSSIA

N.V. Kamenetskaya; O.M. Medvedeva; S.B. Khitov.

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

The possibility of using methods of the queueing system theory to evaluate the effectiveness of the radiation, chemical and biological monitoring post in solving a number of problems of radiation, chemical and biological control is considered in the issue. Performance indicators were determined, calculations were made, recommendations were given, and the efficiency of the post was improved in the given conditions.

Keywords: mathematics modeling, queueing system, radiation, chemical and biological protection, radiation, chemical and biological monitoring, radiation, chemical and biological control, efficiency, estimation

Эффективное применение сил и средств системы радиационной, химической и биологической (РХБ) защиты в системе МЧС России в существенной степени зависит от деятельности системы управления, связанной с разработкой оптимальных решений и планов [1]. Для решения возникающих при этом частных задач, связанных с обоснованием применительно к ожидаемым условиям обстановки, той или иной структуры и способов действий подчиненных сил и средств, широко применяются методы теории принятия решений и исследования операций, включающие, в том числе, методы математического моделирования [2].

Одними из таких методов являются методы теории массового обслуживания [1, 3–5].

Основой применения методов теории массового обслуживания при моделировании является рассмотрение процесса функционирования исследуемых объектов в виде системы массового обслуживания (СМО) – системы, характеризующейся наличием каналов обслуживания, потока заявок, а также очереди на обслуживание заявок со своей дисциплиной ожидания [6].

На практике, зачастую возникают задачи, в которых исследуемая СМО представляет собой систему с последовательно расположенными средствами обслуживания разной производительности. Среди подобных СМО наиболее характерной является система, состоящая из двух последовательно расположенных средств.

Предположим, что рассматриваемые средства расположены на двух рубежах. Время обслуживания каждого средства будет являться случайной величиной, подчиняющейся показательному закону распределения. Производительность средств будет характеризоваться соответствующими параметрами μ_1 и μ_2 , определяемыми по формуле:

$$\mu = \frac{1}{\bar{t}_{обс}};$$

где $\bar{t}_{обс}$ – математическое ожидание времени обслуживания.

Допустим, что на первое средство поступает простейший поток объектов с интенсивностью λ . Объекты, не обслуженные первым средством, ввиду его занятости, поступают для обслуживания на второе средство. Если оно свободно, то объект обслуживается данным средством, в противном случае объекты остаются необслуженными.

Вероятности нахождения средств обслуживания в различных состояниях обозначим как:

P_{00} – оба средства свободны от обслуживания;

P_{10} – первое средство занято обслуживанием, второе свободно;

P_{01} – первое средство свободно, второе занято обслуживанием;

P_{11} – оба средства заняты обслуживанием.

Данные вероятности можно рассчитать [7]:

$$P_{00} = \frac{\mu_1 \mu_2 (2\lambda + \mu_1 + \mu_2)}{\lambda^2 (\lambda + \mu_2)} P_{11};$$

$$P_{10} = \frac{\mu_2 (\lambda + \mu_1 + \mu_2)}{\lambda (\lambda + \mu_2)} P_{11};$$

$$P_{01} = \frac{\mu_1}{\lambda + \mu_2} P_{11};$$

$$P_{11} = \frac{\lambda^2}{\lambda^2 + \lambda(\mu_1 + \mu_2) + \frac{\mu_1 \mu_2}{\lambda + \mu_2} (2\lambda + \mu_1 + \mu_2)} \quad (1)$$

При этом вероятность P_{11} можно рассматривать как вероятность отказа в обслуживании: $P_{11} = P_{отк}$.

Кроме того, можно рассчитать коэффициенты:

– загрузки первого средства K_1 :

$$K_1 = \frac{\mu_1 [\lambda(\lambda + \mu_2) + \mu_2(\lambda + \mu_1 + \mu_2)]}{\lambda + \mu_2 \left[\lambda(\mu_1 + \mu_2) + \frac{\mu_1 \mu_2}{\lambda + \mu_2} (2\lambda + \mu_1 + \mu_2) \right]} \quad (2)$$

– загрузки второго средства K_2 :

$$K_2 = \frac{\mu_2 \lambda (\lambda + \mu_1 + \mu_2)}{\lambda + \mu_2 \left[\lambda(\mu_1 + \mu_2) + \frac{\mu_1 \mu_2}{\lambda + \mu_2} (2\lambda + \mu_1 + \mu_2) \right]} \quad (3)$$

– коэффициент:

$$K = \frac{K_1}{K_2} = \frac{\mu_1 (\lambda + \mu_2)}{\mu_2 (\lambda + \mu_1 + \mu_2)},$$

показывающий, во сколько раз сильнее загружено первое средство, чем второе.

Для достижения наивысшей эффективности функционирования такой СМО, состоящей из двух средств обслуживания разной производительности, первое средство должно иметь наиболее высокую производительность.

Рассмотрим задачу определения эффективности функционирования поста РХБ наблюдения (поста), разворачиваемого при ликвидации последствий чрезвычайной ситуации, как правило, на подвижном пункте управления главного управления МЧС России по субъекту Российской Федерации и решающего задачу РХБ контроля.

Предположим, что на посту находятся два дозиметриста с двумя приборами: один – для определения типа отравляющих веществ (ОВ), другой – для контроля степени радиоактивной зараженности вооружения и специальной техники (В и СТ).

Пусть на пост поступает поток зараженного В и СТ с плотностью $\lambda = 0.5$ ед/мин. С учетом того, что поступающая техника различна по виду и степени зараженности, каждый дозиметрист тратит на ее контроль в каждом случае разное время.

Допустим, что среднее время, затрачиваемое на определение типа ОВ, которым заражен поступающий объект $\bar{t}_{обс1} = 5$ мин, а среднее время контроля степени радиоактивной зараженности $\bar{t}_{обс2} = 2,5$ мин.

Если при поступлении очередного объекта В и СТ дозиметрист оказывается занят, то объект направляется на одну из специализированных площадок обработки. На посту же он получает отказ в обслуживании.

В отдельных случаях объекты не могут ждать начала обработки из-за недостатка времени и также получают отказ в обслуживании. В подобной ситуации подразделение может провести частичную специальную обработку В и СТ.

В указанных условиях требуется оценить эффективность функционирования двух последовательно работающих дозиметристов поста, а также определить производительность дозиметриста, необходимую для контроля не менее 80 % объектов В и СТ.

Рассматривая пост как СМО, состоящую из двух средств обслуживания разной производительности – дозиметристов, применяя указанные выше формулы, можно

рассчитать вероятность отказа в обслуживании для поступающих на пост В и СТ. Подставив значения: $\lambda = 0,5$, $\bar{t}_{обсв} = 5$, $\bar{t}_{обсв} = 2,5$ в формулу (1), получим:

$$P_{отк} = \frac{0,5^2}{0,5^2 + 0,5(0,2 + 0,4) + \frac{0,2 \cdot 0,4}{0,5 + 0,4} (2 \cdot 0,5 + 0,2 + 0,4)} = 0,36$$

Вероятность обслуживания найдем как:

$$P_{обс} = 1 - P_{отк} = 1 - 0,36 = 0,64$$

Таким образом, в заданных условиях постом будет проконтролировано 64 % зараженных объектов В и СТ.

При замене дозиметристов местами, то есть в случае, если первым поставить дозиметриста с большей производительностью ($\bar{t}_{обсв} = 2,5$ мин), получим вероятность проверки любого зараженного объекта $P_{обс} = 0,66$.

Сравнивая результаты расчетов, делаем вывод о том, что в случае указанной выше замены, будет проверено на 2 % больше зараженных объектов В и СТ (66 % против 64 %).

Допустим, что в условиях производительности первого дозиметриста $\bar{t}_{обсв} = 2,5$ мин, второго $\bar{t}_{обсв} = 5$ мин, а также неизменном потоке зараженных объектов $\lambda = 0,5$ ед/мин, начальник поста решил заменить первого дозиметриста, имеющего низкую производительность более опытным специалистом. Одновременно с его заменой принято решение повысить процент проверенных объектов В и СТ, доведя его до не менее чем 80 % от общего числа.

В этих условиях возникает задача определения соответствующей производительности, которой должен обладать более опытный дозиметрист для обеспечения контроля не менее 80 % поступающих на пост объектов В и СТ.

Для ее решения необходимо определить эффективность функционирования поста при различных значениях $\bar{t}_{обсв}$.

Зададим ряд значений величины $\bar{t}_{обсв}$: 2,5; 2,0; 1,67; 1,43; 1,25; 1,11, 1,0 и определим соответствующие вероятности $P_{обс}$. Результаты представим в таблице.

Таблица. Соотношение среднего времени и вероятности обслуживания объекта В и СТ

$\bar{t}_{обсв}$	2,5	2,0	1,67	1,43	1,25	1,11	1,0
$P_{обс}$	0,66	0,7	0,74	0,77	0,79	0,81	0,84

На основании данных таблицы можно построить график зависимости $P_{обс}$ от параметра $\bar{t}_{обсв}$, по которому для значения $P_{обс} = 0,8$ определить $\bar{t}_{обсв} = 1,177$ (рис.). При этом $\mu_1 = 0,85$.

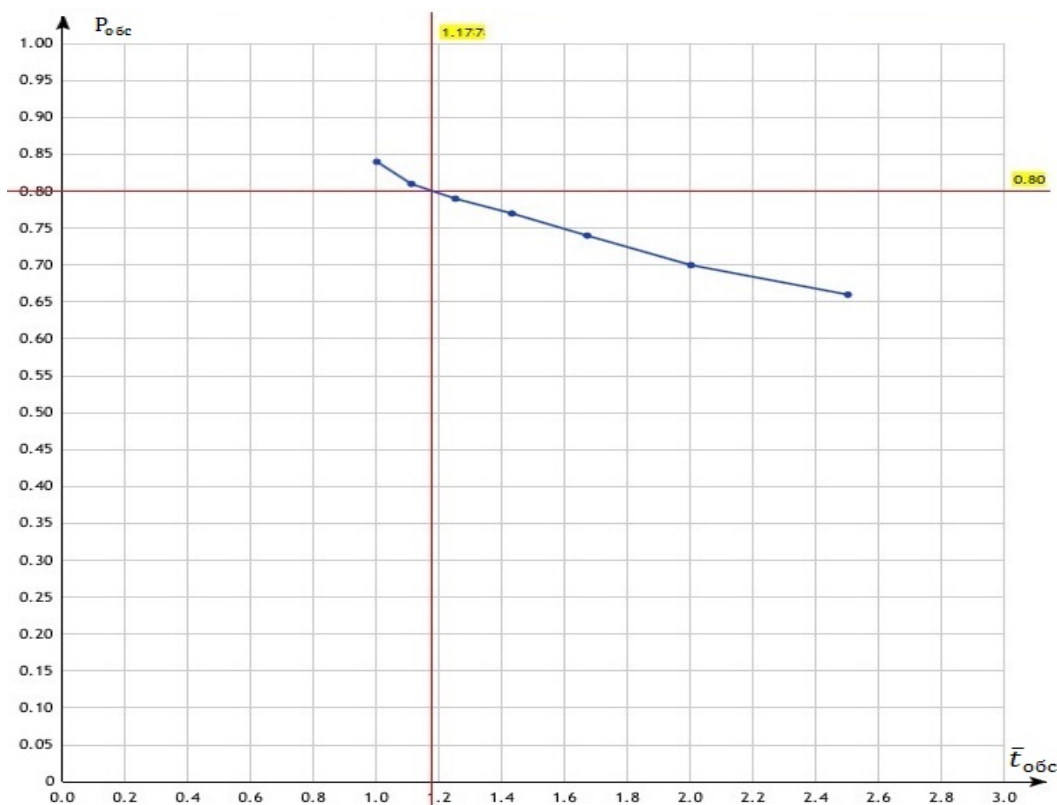


Рис. График зависимости $P_{\text{обс}}$ от $\bar{t}_{\text{обс}}$

Полученные расчеты показывают, что для обеспечения контроля не менее чем 80 % зараженных объектов В и СТ дозиметриста с меньшей производительностью целесообразно заменить специалистом с производительностью $\bar{t}_{\text{обс}1} = 1,177$ мин. При этом производительность второго дозиметриста должна быть $\bar{t}_{\text{обс}2} = 5$ мин.

Определяя по формулам (2), (3) коэффициенты загрузки:

– для первого дозиметриста:

$$K_1 = 0, \frac{85 \left[0,5 (0,5 + 0,2) + 0,2 (0,5 + 0,85 + 0,2) \right]}{0,5 + 0,2 \left[0,5 (0,85 + 0,2) + \frac{0,85 \cdot 0,2}{0,5 + 0,2} (2 \cdot 0,5 + 0,85 + 0,2) \right]} = 0,79;$$

– для второго дозиметриста:

$$K_2 = 1 - K_1 = 1 - 0,79 = 0,21 ,$$

делаем вывод о том, что на долю первого дозиметриста приходится 79 % проверенных объектов, на долю второго – 21 %.

Таким образом, загрузка первого дозиметриста по отношению ко второму будет в 3,8 раза больше, из чего следует, что для проведения РХБ контроля объектов В и СТ на посту РХБ наблюдения первым необходимо ставить наиболее подготовленного специалиста.

Литература

1. 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.
2. Каменецкая Н.В., Медведева О.М., Хитов С.Б. Комплексное использование методов исследования операций при обосновании управленческих решений в системе управления МЧС России // Приоритетные научные направления: от теории к практике. 2016. № 30. С. 92–99.
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. Малышев Д.А., Таранцев А.А. Моделирование работы диспетчерского пункта как системы массового обслуживания с «нетерпеливыми» заявками // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2014. № 4. С. 73–77.
5. Каменецкая Н.В., Медведева О.М., Хитов С.Б. Модель расчета некоторых показателей эффективности функционирования производственно-технического центра МЧС России // Современные тенденции развития науки и технологий. 2017. № 2–2. С. 39–44.
6. Волгин Н.С., Махров Н.В., Юровский Н.А. Исследование операций. Л.: ВМА, 1981.
7. Новиков О.А., Петухов С.И. Прикладные вопросы теории массового обслуживания. М.: Советское радио, 1969.

References

1. Kamenetskaya N.V., Medvedeva O.M., Khitov S.B. Primemenie metodov matematicheskogo modelirovaniya pri reshenii zadachi vyyavleniya i otsenki radiasionnoy, khimicheskoy i biologicheskoy obstanovki v zone chrezvychaynoy situatsii // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere [Application of methods of mathematical modelling at the solution of the problem of identification and the assessment of radiation, chemical and biological situation in zone of emergency. // Problems of technosphere risk management]. 2016. no 2 (38). pp. 64–69 (in Russ.).
2. Kamenetskaya N.V., Medvedeva O.M., Khitov S.B. Kompleksnoe ispolzovaniye metodov matematicheskogo modelirovaniya pri obosnovanii upravlencheskikh resheniy v sisteme upravleniya MCHS Rossii [Comprehensive use of operational research methods in support of management decisions in the management system of EMERCOM of Russia] // Prioritetnyye nauchnyye napravleniya: ot teorii k praktike. 2016. № 30. pp. 92–99 (in Russ.).
3. Kamenetskaya N.V., Medvedeva O.M., Khitov S.B. Matematicheskoye modelirovaniye pri reshenii zadach obosnovaniya struktury i organizatsii funktsionirovaniya mobilnogo gospitalya MCHS Rossii [Mathematical modeling in problem of solving situation of explanation of the structure and functioning of the field hospital of Emercom of Russia] // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta GPS MCHS Rossii, 2016. № 1. pp. 62–67 (in Russ.).
4. Malyshev D.A., Tarancev A.A. Modelirovaniye raboty dispetcherskogo pynkta kak sistemy massovogo obsluzhivaniya s «neterpelivymi zayavkami» [Modeling of work of control office as systems of mass service with «impatient» demands] // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta GPS MCHS Rossii. 2014. № 4. pp. 73–77 (in Russ.).
5. Kamenetskaya N.V., Medvedeva O.M., Khitov S.B. Model rascheta nekotorykh pokazateley effektivnosti funktsionirovaniya proizvodstvenno-tehnicheskogo centra MCHS Rossii // Sovremennyye tendentsii razvitiya nauki i tehnologiy. 2017. № 2–2. p. 39–44 (in Russ.).
6. Volgin N.S., Makhrov N.S., Urovskiy V.A. Issledovanie operatsiy [Operations research]. Leningrad: Naval Academy, 1981, 605 p. (in Russ.).
7. Novikov O.A., Petukhov S.I. Prikladnye voprosy teorii massovogo obsluzhivaniya [Applied questions of queuing theory]. M.: Sovetskoe radio, 1969. (in Russ.).