

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АЭРОМОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ В СИСТЕМЕ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ УКРАИНЫ В УСЛОВИЯХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ МАССОВЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

*Кулиш Ю.А.*

*Харьковский национальный университет гражданской защиты Украины*

*Селиванов С.Е.*

*Херсонская государственная морская академия*

*В статье проведена оценка эффективности функционирования аэромобильного комплекса аварийно-спасательных работ в системе гражданской защиты Украины в условиях возникновения массовых чрезвычайных ситуаций. Показаны дислокации РКЦ, т.е. разнесенные авиационные группировки в Украине. В случае массовых ЧС обслуживание всех поступающих заявок на ликвидацию ЧС проводит АМК. Проведена возможность оценки эффективности функционирования (работы) АМК, как отдельного канала обслуживания, используя теорию массового обслуживания.*

*Ключевые слова: аэромобильный комплекс, массовые чрезвычайные ситуации, ликвидация чрезвычайных ситуаций, теория массового обслуживания.*

**Введение.** В законах Украины, подзаконных актах и государственных стандартах Украины, с разной мерой детализации, определяют чрезвычайные ситуации (ЧС) как: «нарушение нормальных условий жизни и деятельности людей на объекте или территории, вызванное аварией, катастрофой, стихийным бедствием или другим опасным событием, которые привели (могут привести) к гибели людей, животных и растений, значительных материальных ущербов и (или)» нанести ущерб окружающей среде [1]. Там же в госстандарте Украины сделано примечание, что ЧС в зависимости от источника опасности может быть: природная, техногенная, социально-политическая, военная.

К особенностям ЧС относятся массовые ЧС – как совокупность исключительных обстоятельств, сложившихся в соответствующей зоне в результате чрезвычайного события или под влиянием возникших чрезвычайных условий. Массовые ЧС характеризуются по масштабу их распространения, широте охвата ими объектов и территории. Показателями масштаба распространения ЧС являются размеры территории, непосредственно подвергшейся воздействию поражающих факторов; возможные косвенные последствия, которые могут представлять собой тяжелые нарушения организационных, экономических, социальных и других важных связей, действовавших на значительных расстояниях. Массовые ЧС можно подразделить на ЧС мирного и военного времени.

В сложной обстановке массовых ЧС мирного времени и в ситуациях наиболее характерных для обстановки ведения боевых действий задачи по ликвидации ЧС решает перспективная аэромобильная система, созданная согласно постановления Кабинета Министров Украины [2], которую организационно будем рассматривать как аэромобильный комплекс (АМК), в состав которого входят силы и средства проведения АСДНР.

Высокая мобильность, оперативность и дальность действия авиационных средств в сочетании с широкими возможностями специального спасательного оборудования и техники позволяет в кратчайшие сроки прибыть в зону возникновения ЧС и своевременно начать проведение АСДНР.

Аэромобильный комплекс объединяет весь район ответственности Украины за поиск и спасение, который в свою очередь распределен на зоны ответственности региональных координационных центров (РКЦ) по поиску и спасению МЧС Украины.



применение адекватного математического аппарата исследований, который позволил бы найти основные характеристики АМК как системы и оценить эффективность ее работы.

Процессы обслуживания потока заявок изучает раздел математики, находящейся на стыке теории вероятностей и исследования операций, называемый теорией массового обслуживания (ТМО). Интересно, что в англоязычной терминологии название этого раздела математики звучит как «Queueing theory», т.е. «теория очередей». Это показывает, что ее основная цель (подобно нашей) – борьба с очередями.

Системой массового обслуживания (СМО) называется любая система для выполнения заявок поступающих в СМО.

Поступление заявки в СМО называется событием. Последовательность событий, заключающихся в поступлении заявок в СМО, называется входящим потоком заявок. Последовательность событий, заключающихся в выполнении заявок в СМО, называется выходящим потоком заявок.

Говоря о заявках, то чаще всего они будут поступать в случайные моменты времени, поэтому в теории массового обслуживания принято говорить о случайном потоке требований (заявок) на обслуживание [3]. Длительность обслуживания каждой заявки так же является случайной величиной. В связи с этим работа системы протекает нерегулярно. В какие-то моменты каналы обслуживания простаивают, в другие моменты происходит накопление заявок. Это приводит либо к отказу обслуживания каких-то заявок, либо к образованию из них очередей.

Для уменьшения степени влияния подобных негативных факторов разрабатываются рекомендации по рациональной организации системы в соответствии с требуемой пропускной способностью и другими характеристиками эффективности ее работы. Разработка подобных рекомендаций и методов расчета характеристик эффективности систем и есть предмет теории массового обслуживания.

Математический аппарат теории массового обслуживания позволяет оценить эффективность обслуживания системой заданного потока заявок в зависимости от характеристики потока заявок, числа каналов обслуживания, производительности каналов и дисциплины обслуживания заявок [4].

В качестве критериев эффективности обслуживания в теории массового обслуживания используются следующие критерии: вероятность обслуживания каждой поступающей заявки, средняя доля обслуженных заявок, среднее время обслуживания заявки, закон распределения длины очереди на обслуживание, пропускная способность системы и другие. Из указанного следует, что используемые в теории массового обслуживания критерии позволяют оценивать эффективность системы по усредненным характеристикам именно массовых событий. Получаемые при этом оценки характеризуют поведение системы «в среднем» [5]. Поэтому при исследовании функционирования АМК методами теории массового обслуживания мы вынуждены будем сделать ряд допущений и упрощений в описании случайных процессов поступления требований на сложных задач с использованием авиационных средств.

В первую очередь это будет касаться входящего потока заявок.

Математический аппарат теории массового обслуживания наиболее разработан применительно к простейшему потоку событий. Дело в том, что простейшие потоки наиболее часто встречаются на практике в самых широких областях [6].

Поток заявок называется простейшим, если он удовлетворяет следующим условиям:

- отсутствие последствия, т.е. заявки поступают независимо друг от друга;
- стационарность, т.е. вероятность поступления данного числа заявок на любом временном отрезке  $t_1$ ,  $t_2$  зависит лишь от величины этого отрезка и не зависит от

значения  $t_1$ , что позволяет говорить о среднем числе заявок за единицу времени,  $\lambda$ , называемом интенсивностью потока заявок;

– ординарность, т.е. любой момент времени в СМО поступает лишь одна заявка, а поступление одновременно двух и более заявок пренебрежимо мало.

В работе [7] показано, что во многих случаях можно получить достаточно приемлемые оценки эффективности систем, заменяя входящий поток любой сложной структуры простейшим с той же плотностью. Этому способствует тот факт, что при суммировании большого числа ординарных, стационарных потоков с практически любым последствием получается поток, сколь близкий к простейшему. Условия, которые должны при этом соблюдаться, аналогичны условиям центральной предельной теоремы: складываемые потоки должны оказывать на сумму равномерное малое влияние. В работе Хинчина А. Я. [8] показано, что на практике достаточно сложить 4-5 таких потоков, чтобы получить результирующий поток, с которым можно оперировать как с простейшим.

Применительно к потоку требований на решение сложных задач данное условие будет определяться наличием широкого круга различных сложных задач, поступление которых в систему происходит с постоянной интенсивностью во времени (условие стационарности) по крайней мере, на ограниченном во времени отрезке.

В действительности, условие стационарности является лишь определенным методическим приемом, применяемым в целях упрощения анализа, так как строго стационарных процессов в природе не существует. Все реальные процессы стационарны только на ограниченном отрезке времени. Распространение условия стационарности до бесконечности позволяет проводить исследования систем методами теории массового обслуживания применительно к постоянным условиям функционирования.

Данное обстоятельство имеет важное значение для исследования системных свойств АМК в условиях боевого применения. В этих условиях функционирование АМК осуществляется при экстремальной нагрузке на систему, когда интенсивность поступления заявок на решение военно-прикладных задач имеет максимальное значение.

Таким образом, на основании принятых допущений о структуре потока требований на решение сложных задач ликвидации ЧС, мы можем оценивать состояние АМК в различные моменты времени. Принято допущение о свойствах потока требований, как простейшего, основано на суммировании нескольких потоков требований на решение различных сложных задач. Условие стационарности позволяет распространить постоянство характеристик потока во времени, что, в свою очередь, дает возможность проводить исследование свойств АМК в наиболее сложных режимах применения.

В наиболее общем случае поток требований на решение сложных задач ликвидации задач является нестационарным. Свойство нестационарности потока требований на решение таких задач наиболее отчетливо может проявиться в самом начале развития массовых ЧС, когда интенсивность потока требований на решение этих задач резко возрастает.

Исходя из рассмотренных условий для простейшего потока, рассмотрим пример.

**Пример.** Предположим, что на телефонную станцию АМК в случайном порядке поступает в среднем 2 заявки за 10 минут. Определить поток вероятности  $p_i(t)$  поступления в АМК в среднем 4 заявки за 30 минут.

**Решение.** Поток вероятности поступления заявок в промежуток времени  $t$  вычисляется по формуле

$$p_i(t) = \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t},$$

т.е. вероятности распределены по закону Пуассона с параметром  $\lambda t$ . По этой причине простейший поток называется также пуассоновским потоком.

В этой формуле:

$\lambda$  – інтенсивність поступлення по заявок:  $\lambda = \frac{2}{10}$  мин = 0,2 мин<sup>-1</sup>,

$t$  – время поступления заявки:  $t = 30$  мин,

$i$  – число заявок (требований):  $i = 4$ ,

Тогда

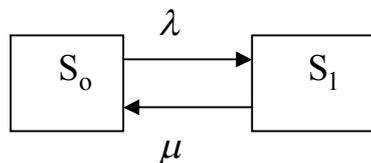
$$p_4(T) = \frac{(0,2 \cdot 30)^4}{4!} e^{-0,2 \cdot 30} = \frac{6^4}{24} e^{-6} \approx 0,134.$$

Решение рассмотренного примера показало, поток вероятности поступления заявок в АМК составляет  $p_4(T) \approx 0,134$ .

Далее отметим, что функция распределения  $F(t)$  случайного интервала времени  $T$  между двумя последовательными заявками по определению равна  $F(t) = P(T < t)$ . Но  $P(T < t) = 1 - P(T \geq t)$ , где  $P(T \geq t)$  – вероятность того, т.е. за время  $t$  в СМО не поступит ни одна заявка. Но вероятность этого события находится из  $p_i(t) = \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t}$  при  $i = 0$ . Таким образом,  $P(T \geq t) = p_0(t) = e^{-\lambda t}$  и  $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ .

Рассмотрим один из конкретных типов СМО, при этом будем предполагать, что плотность распределения промежутка времени между двумя последовательными событиями в СМО имеет показательное распределение, а все потоки являются простейшими.

Размеченный граф состояний одноканальной СМО с отказом может быть представлен в виде



Здесь  $\lambda$  и  $\mu$  – интенсивность потока заявок и выполнения заявок соответственно. Состояние системы  $S_0$  означает, что канал свободен, а  $S_1$  – что канал занят обслуживанием заявки.

Система дифференциальных уравнений Колмогорова для такой СМО имеет вид

$$\begin{cases} \frac{dp_0(t)}{dt} = -\lambda p_0(t) + \mu p_1(t), \\ \frac{dp_1(t)}{dt} = -\lambda p_0(t) + \mu p_1(t), \\ p_0(t) + p_1(t) = 1, \end{cases}$$

где  $p_0(t)$  и  $p_1(t)$  – вероятности нахождения СМО в состояниях  $S_0$  и  $S_1$  соответственно.

Уравнения для финальных вероятностей  $p_0$  и  $p_1$  получим, приравнявая нулю производные в первых двух уравнениях системы. В результате получим:

$$p_0 = \frac{\mu}{\mu + \lambda} = \frac{1}{1 + \rho}, \quad (1)$$

$$p_1 = \frac{\lambda}{\mu + \lambda} = \frac{\rho}{1 + \rho}. \quad (2)$$

Вероятность  $p_0$  по своему смыслу есть вероятность обслуживания заявки  $p_{i \text{ а́н}}$ , т.к. канал является свободным, а вероятность  $p_1$  по своему смыслу является вероятностью отказа в обслуживании поступающей в СМО заявки  $p_{i \text{ о́е}}$ , т.к. канал занят обслуживанием предыдущей заявки. Остальные характеристики СМО найдем, рассмотрев конкретный пример.

**Пример.** Телефонистке АМК поступает в среднем 1,2 телефонных вызовов в минуту. Средняя продолжительность разговора составляет 2 минуты. Найти основные характеристики АМК (как системы) и оценить эффективность ее работы.

Решение. По условию:

входной поток заявок – простейший с интенсивностью  $\lambda$ .

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}, \quad t > 0, \quad \bar{t} = M[T] = \frac{1}{\lambda} = 1,2.$$

Поток обслуживания заявок имеет интенсивность  $\mu$ ,

$$g(t) = \mu \cdot e^{-\mu t}, \quad t > 0, \quad \bar{t}_{i \text{ а́н}} = M[T_{i \text{ а́н}}] = \frac{1}{\mu}.$$

По условию  $\lambda = 1,2 \text{ мин}^{-1}$ ,  $\mu = 2 \text{ мин}^{-1}$ , откуда  $\rho = \frac{\lambda}{\mu} = 0,6$ . По формулам (1) и (2) находим

$p_{\text{обс}}$  и  $p_{\text{отк}}$ :

$$p_{\text{обс}} = p_0 = \frac{1}{1 + \rho} = 0,625; \quad p_{\text{отк}} = p_1 = \frac{\rho}{1 + \rho} = 0,375.$$

Таким образом, АМК обслуживает лишь 62,5 % звонков, что нельзя считать удовлетворительным.

Абсолютная пропускная способность АМК

$$A = \lambda Q = \lambda p_{i \text{ а́н}} = 1,2 \cdot 0,625 = 0,75 \text{ мин}^{-1},$$

т.е. в среднем обслуживается 0,75 звонка в минуту.

**Выводы и предложения.** Для оценки эффективности функционирования (работы) аэромобильного комплекса (АМК), как системы, по ликвидации массовых ЧС в том или ином районе Украины, как отдельного канала обслуживания, используется теория массового обслуживания.

Эффективность функционирования АМК АСДНР в условиях возникновения массовых ЧС зависит от своевременности полученных заявок на ликвидацию ЧС. Применение теории массового обслуживания к работе АМК дает возможность определить основные характеристики АМК, как системы, при решении задач ликвидации массовых ЧС и оценить эффективность ее работы с точки зрения ее эксплуатации.

Данные показатели эффективности позволяют сформулировать требования к системе с двух противоположных точек зрения. Для того чтобы оценить систему с точки зрения потребителя система использует такие показатели, как максимальная пропускная способность системы и т.д. Для анализа системы с точки зрения эффективности ее эксплуатации используются: максимальный коэффициент загрузки системы, минимальные затраты на содержание службы. Необходимо проводить сравнение показателей, что позволит определить оптимальные параметры системы; и рекомендовать наилучший вариант структуры системы.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. ДСТУ 3891-99. Державний стандарт України. Безпека у надзвичайних ситуаціях. Терміни та визначення основних понять.
2. Постановление Кабинета Министров Украины от 8.09.2004 г. № 1172 «О создании Государственной авиационной поисково-спасательной службы».
3. Гнеденко Б. В. Введение в теорию массового обслуживания / Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко. – М. : Машиностроение, 1966. – 432 с.
5. Овчаров Л. А. Прикладные задачи теории массового обслуживания. – М. : Машиностроение, 1969. – 324 с.
6. Новиков О. А. Прикладные вопросы теории массового обслуживания / О. А. Новиков, С. И. Петухов. – М. : Сов. Радио, 1969. – 400 с.
7. Морозов В. В. Исследование операций в задачах и упражнениях / В. В. Морозов, А. Г. Сухарев, В. В. Федоров. – М. : Высшая школа, 1986. – 290 с.
8. Гнеденко Б.В. Лекции по теории массового обслуживания / Б. В. Гнеденко. – К. : КВИРТУ, 1960. – 67 с.
9. Хинчин А. Я. Математические методы теории массового обслуживания // Труды математического института им. В. А. Стеклова. – М., 1955. – Т. 49. – С. 38-40.

**Куліш Ю.О., Селіванов С.Є.** ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ АЕРОМОБІЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ РОБІТ У СИСТЕМІ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВИНИКНЕННЯ МАСОВИХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

*У статті проведена оцінка ефективності функціонування аеромобільного комплексу аварійно-рятувальних робіт у системі цивільного захисту України в умовах виникнення масових надзвичайних ситуацій. Показані дислокації РКЦ, тобто рознесені авіаційні угруповання в Україні. У випадку масових ЧС обслуговування всіх вступних заявок на ліквідацію ЧС проводить АМК. Проведена можливість оцінки ефективності функціонування (роботи) АМК, як окремого каналу обслуговування, використовуючи теорію масового обслуговування.*

*Ключові слова: аеромобільний комплекс, масові надзвичайні ситуації, ліквідація надзвичайних ситуацій, теорія масового обслуговування.*

**Kylish U.A., Selivanov S.E.** EVALUATION OF COMPLEX OPERATION AIRBORNE RESCUE OPERATIONS IN THE CIVIL PROTECTION SYSTEM UKRAINE IN TERMS OF MASS EMERGENCIES

*The article considers efficient and functional assessment of aeromobile complex of rescue works in civil protection system of Ukraine under the circumstances of mass extreme situations. Dispositions of regional coordination centers (RCC) or dispersed aviation groups are studied. In case of mass extreme situations service of all declarants for disposal of extreme situations are held by AMC. The possibility of efficient and functional assessment (of work) as a separate service way is carried using the theory of mass service.*

*Keywords: an aeromobile complex, mass extreme situations, disposal of extreme situations, the theory of mass service.*