

УДК 614.81

## РАСЧЕТ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПЕРАТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПАСЧ С РАЗНОТИПНЫМИ ОТДЕЛЕНИЯМИ

Ильюшонок А.В., к.ф.-м.н., доцент

Сережкин В.Н., к.ф.-м.н., доцент

*На основе математического моделирования получены вероятностные характеристики оперативной деятельности ПАСЧ с тремя разнотипными отделениями.*

Для оценки боеготовности пожарной аварийно-спасательной части (ПАСЧ) и совершенствования ее деятельности важно знать основные вероятностные характеристики, определение которых основано на математическом моделировании оперативной деятельности. К настоящему времени разработаны подходы, опирающиеся на теорию массового обслуживания, для определения вероятностных характеристик оперативной деятельности органов и подразделений по ЧС. Пожарную аварийно-спасательную часть можно рассматривать как систему массового обслуживания (СМО) с несколькими каналами обслуживания – отделениями на пожарных автомобилях. В случае, когда все каналы однотипны, расчет вероятностных характеристик, таких как вероятность отказа в обслуживании вызова, пропускная способность СМО, коэффициент занятости каналов и др., рассчитывается по известным формулам [1]. Однако в связи с тем, что часто вызовы обслуживаются несколькими отделениями на разнотипных автомобилях, представляет интерес определение вероятностных характеристик оперативной деятельности в таких случаях. Анализ этих характеристик дает возможность оценить боевую нагрузку на соответствующие отделения и оценить эффективность их работы.

Моделирование оперативной деятельности ПАСЧ как системы массового обслуживания основывается на следующих предположениях.

1. Потоки вызовов имеют пуассоновское распределение

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k \cdot e^{-\lambda t}}{k!}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – интенсивность потока вызовов (среднее число вызовов в единицу времени),  $P_k(t)$  – вероятность поступления  $k$  вызовов за время  $t$ .

2. Временные характеристики оперативной деятельности имеют показательное распределение с функцией распределения

$$F(t) = P(t_{\text{обсл}} < t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (2)$$

где  $\mu = \frac{1}{\bar{\tau}}$ ,  $\bar{\tau}$  – среднее время обслуживания вызова.

В данной работе проведен статистический анализ и определены вероятностные характеристики ПАСЧ с тремя разнотипными отделениями на примере ПАСЧ № 1 г. Барановичи.

В состав ПАСЧ входит три отделения: 1-е отделение – АЦ (автоцистерна), 2-е отделение – УАЗ МЕД (скорая помощь), 3-е отделение – АЛ-30 (автолестница).

Как показал статистический анализ диспетчерского журнала за год, наиболее вероятными состояниями функционирования ПАСЧ как системы массового обслуживания являются следующие:

$E_0$  – все отделения ПАСЧ находятся на боевом дежурстве;

$E_1$  – вызов обслуживает 1-е отделение;

$E_2$  – вызов обслуживают 1-е и 2-е отделения;

$E_3$  – вызов обслуживают 2-е и 3-е отделения;

$E_4$  – вызов обслуживает 2-е отделение;

$E_5$  – вызов обслуживает 3-е отделение;

$E_6$  – вызов обслуживают все три отделения.

Предполагая, что потоки переходов между состояниями являются простейшими, можно составить следующий размеченный график состояний такой СМО (см. рис).

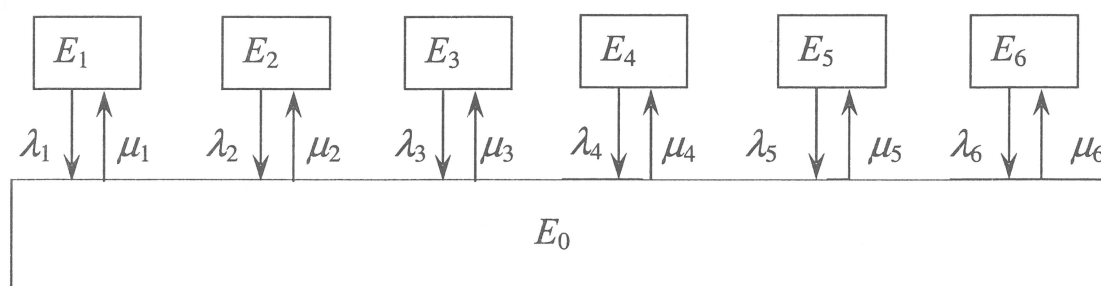


Рис. Размеченный график состояний СМО

Здесь  $\lambda_i$  – интенсивность перехода из состояния  $E_0$  в состояние  $E_i$ ,  $\mu_i$  – интенсивность перехода из состояния  $E_i$  в состояние  $E_0$ .

Система дифференциальных уравнений Колмогорова-Эрланга для определения вероятностей  $p_i(t)$  пребывания данной СМО в состоянии  $E_i$  имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{dp_0}{dt} = -p_0 \sum_{k=1}^6 \lambda_k + \sum_{k=1}^6 \mu_k p_k, \\ \frac{dp_k}{dt} = -\mu_k p_k + \lambda_k p_0, k = 1, 2, 3, 4, 5, 6. \end{cases}$$

Предельные вероятности  $p_i = \lim_{t \rightarrow \infty} p_i(t)$  определяются из системы линейных уравнений

$$\begin{cases} -p_0 \sum_{k=1}^6 \lambda_k + \sum_{k=1}^6 \mu_k p_k = 0, \\ -\mu_k p_k + \lambda_k p_0 = 0, k = 1, 2, 3, 4, 5, 6. \\ \sum_{i=0}^6 p_i = 1. \end{cases} \quad (3)$$

Из системы (3) находим, что предельные вероятности пребывания СМО в состоянии  $E_k$  равны:

$$p_0 = \left( 1 + \sum_{k=1}^6 \frac{\lambda_k}{\mu_k} \right)^{-1}, \quad p_k = \frac{\lambda_k}{\mu_k} p_0, k = 1, 2, 3, 4, 5, 6. \quad (4)$$

Статистические данные оперативной деятельности ПАСЧ с тремя разнотипными отделениями дали следующие результаты.

Поток вызовов имеет распределение Пуассона. Интенсивность потока вызовов

$$\lambda = \frac{402(\text{выз})}{365(\text{сут})} \approx 1,1 (\text{выз/сут}) = 0,046 (\text{выз/час}).$$

Среднее время обслуживания вызова

$$\bar{t}_{\text{обсл}} = \frac{376}{402} (\text{час/выз}) = 0,93 (\text{час/выз}).$$

Время обслуживания имеет показательное распределение с параметром  $\mu$ . Параметр

$$\mu = \frac{1}{\bar{t}_{\text{обсл}}} = 1,08 (\text{выз/час}).$$

Статистические данные о пребывании данной СМО в состоянии  $E_i$  приведены в таблице.

Таблица

Состояние $E_i$	Число вызовов	Время пребывания в сост. $E_i$	Эмпирическая частота перехода в сост. $E_i$	Интенсивность перехода в сост. $E_i$	Интенсивность перехода из сост. $E_i$ в сост. $E_0$	$\frac{\lambda_i}{\mu_i}$	Эмпирическая вероятность пребывания в сост. $E_i$	Теоретическая вероятность пребывания в сост. $E_i$
	$n_i$	$T_i$ , (час)	$a_i$	$\lambda_i$	$\mu_i$		$\bar{p}_i$	$p_i$
$E_0$	—	8384	—	—	—	—	0,9570	0,956
$E_1$	270	238,9	0,67	0,031	1,12	0,028	0,0270	0,026
$E_2$	40	38,1	0,10	0,005	1,05	0,005	0,0043	0,0048
$E_3$	14	7,2	0,04	0,002	1,94	0,001	0,0008	0,0009
$E_4$	14	36,2	0,04	0,002	0,39	0,005	0,0047	0,0048
$E_5$	51	42,7	0,12	0,006	1,19	0,005	0,0048	0,0048
$E_6$	13	12,9	0,03	0,001	1,01	0,001	0,0014	0,0009
$\Sigma$	402	8760	1	—	—	—	1	1

В этой таблице:

$a_i = \frac{n_i}{402}$  – эмпирическая частота перехода из состояния  $E_0$  в  $E_i$  ;

$\lambda_i = \lambda a_i$  – интенсивность перехода из состояния  $E_0$  в  $E_i$  ;

$\lambda = 0,046$  (выз/час);

$\mu_i = \frac{n_i}{T_i}$  – интенсивность перехода из состояния  $E_i$  в  $E_0$ .

Эмпирическая вероятность пребывания данной СМО в состоянии  $E_i$  определяется по формуле

$$\bar{p}_i(t) = \frac{T_i}{8760}.$$

Сравнение полученных эмпирических вероятностей  $\bar{p}_i(t)$  с теоретическими значениями  $p_i$  позволяет сделать вывод о том, что построенная математическая модель дает удовлетворительное описание деятельности данной ПАСЧ с тремя разнотипными отделениями. На основании полученных формул (4) можно определить вероятности отказа от обслуживания для каждого отделения.

Вероятность того, что произойдет отказ от обслуживания для первого отделения равна  $p_{1, \text{отк.}} = p_1 + p_2 + p_6 = 0,032$ , для второго отделения  $p_{2, \text{отк.}} = p_2 + p_3 + p_4 + p_6 = 0,011$ , для третьего отделения  $p_{3, \text{отк.}} = p_3 + p_5 + p_6 = 0,015$ . Принято считать, что вероятность отказа в обслуживании не должна

ной ситуации необходимо принятие решений по повышению боеготовности ПАСЧ.

Построенная модель позволяет также прогнозировать поведение данной СМО в случае изменения оперативной обстановки, а именно увеличения интенсивности потока вызовов. В этом случае, задавая значения интенсивности потока вызовов  $\lambda_k$ , на основании формул (4) можно определить прогнозируемые теоретические вероятностные характеристики оперативной деятельности части.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Брушлинский Н.Н. Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы. – М. МИПБ МВД РФ, 1998.