
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ И ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 614.842

И. Д. Кульшимбаев¹, И. А. Захаров², С. Б. Арифджанов¹

¹Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан

²Кокшетауский технический институт МЧС Республики Казахстан

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСЧЕТА ИНТЕНСИВНОСТИ ПОТОКА ВЫЗОВОВ И ВРЕМЕНИ ЗАНЯТОСТИ ПОЖАРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

Аннотация. В статье рассмотрено решение задачи, связанной с оценкой и выработкой подходов к повышению эффективности оперативной деятельности пожарных подразделений. Для определения теоретической вероятности проведен анализ выездов пожарных подразделений на примере города Нур-Султан, используя распределение Пуассона. Полученные результаты расчетов эмпирического и теоретического распределения показали сходный характер, что позволило сделать вывод, что потоки вызовов являются стационарными, а статистический анализ реальных временных характеристик процесса функционирования пожарных подразделений описывается распределением Эрланга, позволяя использовать известные математические модели в исследовании процессов функционирования гарнизона противопожарной службы.

Ключевые слова: моделирование, поток вызовов, пожарные подразделения, управление, деструктивные события.

В настоящее время обеспечение пожарной безопасности представляет собой сложную социально-экономическую систему. Совершенствование организации и управления в сложных системах невозможно без применения научных подходов и методов решения организационно-управленческих задач.

В этой связи специалист в области обеспечения пожарной безопасности должен владеть знанием теорий систем, управления, моделирования, прогнозирования, планированием процесса, принятия и исполнения управленческих решений научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельности, применения информационных технологий.

При решении организационно-управленческих задач необходимо использовать количественные методы, включающие в себя полный объем информации, требующей анализа для принятия соответствующих решений.

В данной работе представлено решение задачи, которое напрямую связано с оценкой и выработкой подходов к повышению эффективности оперативной деятельности пожарных подразделений [1, 2].

Как известно, в силу ряда причин в любом населенном пункте случаются пожары, взрывы газа, аварии, дорожно-транспортные происшествия, бытовые и

производственные травмы, террористические акты, разгерметизация технологического оборудования, выбросы опасных ядовитых веществ в атмосферу в ликвидации которых должны принимать участие пожарные подразделения.

Поток деструктивных событий формирует сложный процесс, сопутствующий жизни в любом населенном пункте, и нуждается с позиций управления безопасностью в изучении, прогнозировании, а значит – в моделировании, чтобы максимально ослабить его негативные последствия.

Любая чрезвычайная ситуация имеет непредсказуемый характер, невозможно предугадать ни время и место его возникновения, набор требуемой основной и специальной пожарной техники, численности личного состава, продолжительность ликвидации его последствий, погодные условия в связи с чем моделирование этого процесса требуют применения вероятностно-статистических методов.

Для определения теоретической вероятности того, что за время τ произойдет k выездов пожарных подразделений используем распределение Пуассона [3-5]:

$$P_k(\tau) = \frac{(\lambda \tau)^k}{k!} e^{-\lambda \tau} \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

где λ – плотность потока вызовов, т. е. среднее число вызовов, поступающих за единицу времени τ .

Для анализа потока вызовов пожарных подразделений на примере города Нур-Султан был взят реальный поток, зафиксированный в диспетчерском журнале за 6 месяцев. За данный период пожарные подразделения, выезжали 426 раз на тушение пожаров при плотности потока вызовов $\lambda = 2,35$ вызова/сутки. Результаты расчетов представлены на рисунке 1 и таблице 1.

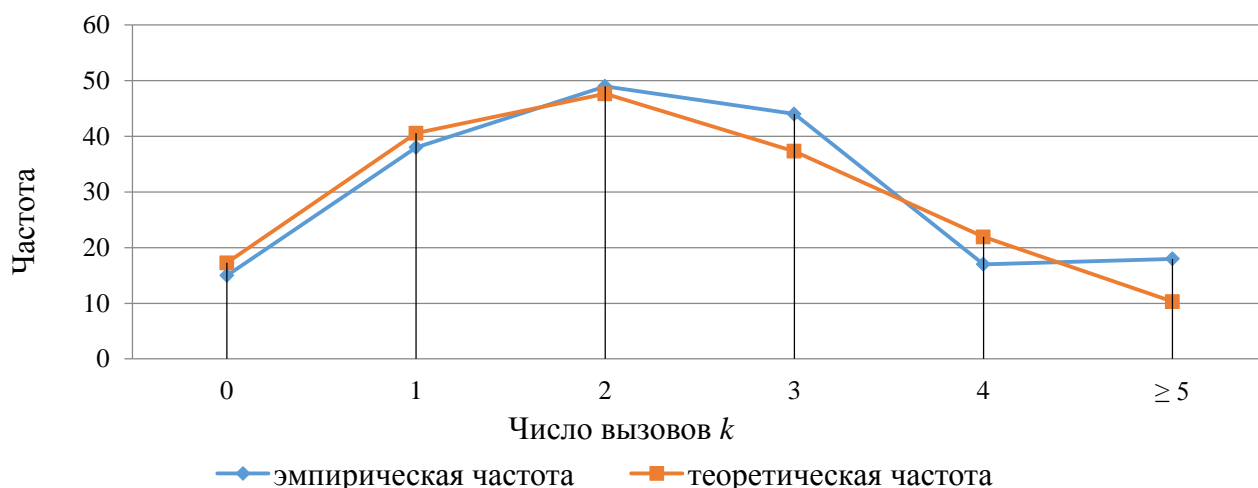


Рисунок 1 – Эмпирическое и теоретическое (пуассоновское) распределения числа вызовов пожарных подразделений

Из рисунка 1 видно, что полученные эмпирическое и теоретическое распределения имеют сходный характер, это позволяет сделать вывод, что потоки деструктивных событий являются стационарными.

Таблица 1 – Эмпирическое и теоретическое (пуассоновское) распределения числа вызовов

Месяц		Число выездов в сутки						Число суток	λ	R
		0	1	2	3	4	≥ 5			
Январь-июнь (6 мес.)	Эмпир.	15	38	49	44	17	18	181	2,35	1,59
	Теорет.	17,26	40,56	47,65	37,32	21,92	10,32			

Чтобы определить являются ли имеющиеся расхождения между эмпирическими и теоретическим распределениями случайными или они закономерны, обратимся к статистическим критериям. Для этого используем критерий В.И. Романовского [6].

$$\rho = \sqrt{\frac{1}{2(V-z-1)}} \left| \sum_{k=1}^l \frac{(m_k - f_k)^2}{f_k} - (V-z-1) \right|, \quad (2)$$

где V – число групп значений случайной величины, для каждой из которых должно выполняться условие $f_k \geq 9$, если для какой-либо k -й группы это условие не выполняется, то эта группа объединяется с предыдущей или с последующей группой, а соответствующие им частоты складываются; z – число параметров закона распределения, для закона Пуассона и для показательного закона $z = 1$.

Если значение критерия Романовского $\rho < 3$, то расхождения можно считать не существенными (случайными), если $\rho \geq 3$ – существенными.

В результате расчетов получено значение $R = 1,59 < 3$, соответственно согласие между эмпирическим и теоретическим распределениями следует признать удовлетворительным.

При обслуживании вызовов интересным представляются временные характеристики процесса функционирования гарнизона противопожарной службы. Одной из основной временной характеристикой процесса пожаротушения является время занятости на месте вызова.

Важнейшими параметрами среди них является время следования первого подразделения к месту вызова, время работы на вызове, возвращение в депо и постановка подразделения в расчёт.

Данный интервал времени является суммой нескольких продолжительных промежутков времени:

- время следования;
- время разведки и развертывания сил и средств;
- время локализации пожара;
- время разборки конструкций и проливки;
- время постановки пожарной техники в расчет.

Указанные временные характеристики процесса пожаротушения являются непрерывными случайными величинами и могут быть описаны соответствующими функциями распределения и числовыми характеристиками. Большинство этих временных характеристик можно описать распределениями Эрланга того или иного порядка.

Наибольшее значение для математического моделирования имеет время обслуживания вызовов. Эту величину необходимо знать, прежде всего, для

обоснования численности оперативных отделений гарнизона противопожарной службы.

На основании статистических данных в таблице 2 представлены сведения о времени занятости пожарных подразделений по выездам на пожары.

Таблица 2 – Распределение выездов случайного характера по времени занятости подразделений

№ п/п	Интервал времени работы, ч.	Число случаев, ед.	Число случаев, %.
1	0,25	388	36,3
2	0,5	335	31,4
3	1,0	239	22,4
4	2,0	69	6,5
5	≥ 2,0	36	3,4

Из таблицы 2 видно, что в 91 % случаев пожарные подразделения ликвидировали пожары до 1 часа. Используя табличные данные, можно найти среднее время обслуживания одного вызова:

$$\bar{\tau}_{\text{обсл}} = \frac{388 \cdot 7,5 + 335 \cdot 22,5 + 239 \cdot 45 + 69 \cdot 90 + 36 \cdot 150}{1067} = 30,8 \text{ мин.}$$

Для описания вероятностного распределения случайной величины $\tau_{\text{обсл}}$ продолжительности времени занятости пожарных подразделений обслуживанием вызова с помощью показательного закона распределения необходимо определить значение параметра, представляющего собой интенсивность потока «освобождения» пожарных подразделений от обслуживания вызовов. Значение параметра μ оценивается по формуле:

$$\mu = \frac{1}{\tau_{\text{обсл}}} = \frac{1}{30,8} = 0,032. \quad (3)$$

Зная значение параметра μ и эмпирические данные, можно определить вероятность попадания значения случайной величины $\tau_{\text{обсл}}$ в тот или иной интервал времени по следующим формулам:

$$P\{\tau_{\text{обсл}} < \tau\} = 1 - e^{-\mu\tau}, \quad (4)$$

$$P\{\tau_{\text{обсл}} \geq \tau\} = e^{-\mu\tau}, \quad (5)$$

$$P\{\tau_1 \leq \tau_{\text{обсл}} < \tau_2\} = e^{-\mu\tau_1} - e^{-\mu\tau_2}, \quad (6)$$

Далее для каждого j -го интервала находится теоретическая частота f_j вызовов, длительность времени обслуживания, которые находятся в пределах границ j -го интервала по формуле:

$$f_j = NP_j \quad (7)$$

Результаты расчетов теоретического и эмпирического распределений представлены в таблице 3 и на рисунке 2.

Таблица 3 – Эмпирическое и теоретическое распределения длительности времени обслуживания вызовов пожарных подразделений

Номер интервала j	Границы интервала		Распределения:			
			Эмпирическое		Теоретическое	
	τ_j^H	τ_j^K	Частота m_j	Вероятность ω_j	Частота f_j	Вероятность p_j
1	0	15	388	0,38122	406,8	0,38126
2	15	30	335	0,23589	251,7	0,23589
3	30	60	239	0,23628	252,1	0,23627
4	60	120	69	0,12512	133,5	0,12512
5	120	∞	36	0,02149	22,9	0,02146
Всего:			1067	1,00000	1067	1,00000

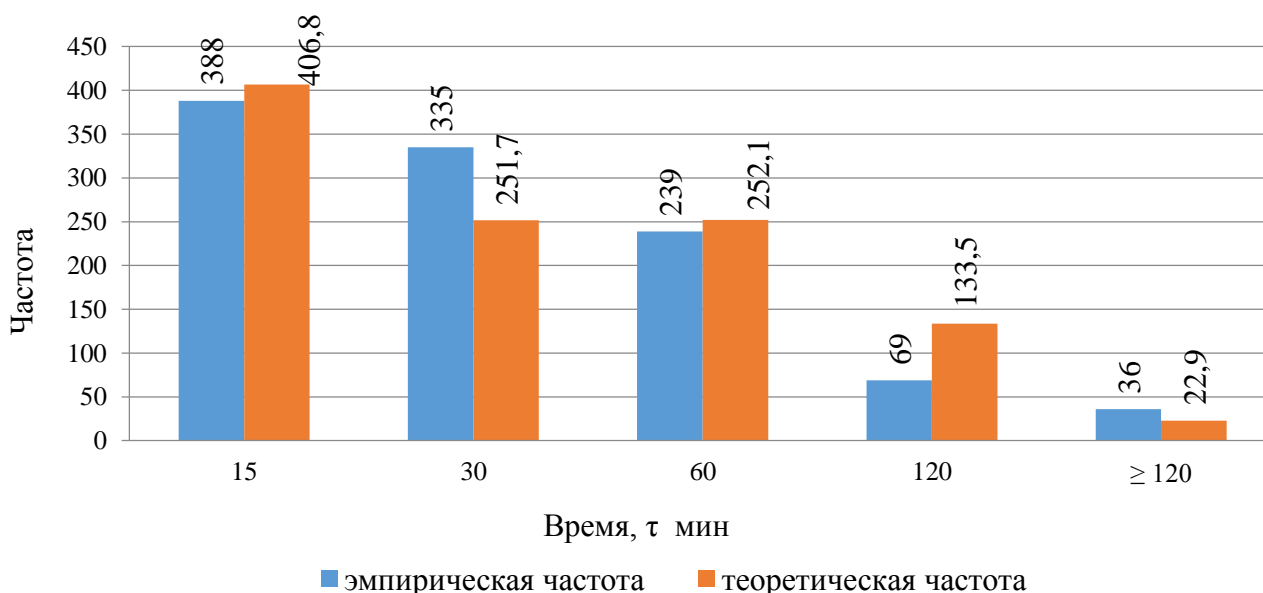


Рисунок 2 – Гистограмма эмпирического и теоретического распределений длительности времени обслуживания вызовов пожарных подразделений

Из данных в таблице 3 и рисунка 2 можно сделать вывод об удовлетворительном соответствии эмпирического и теоретического распределений времени занятости пожарных подразделений. На основании этих результатов можно констатировать, что распределение Эрланга можно использовать в данном исследовании как модельное распределение времени занятости пожарных подразделений.

Таким образом, по результатам статистического исследования и моделирования вероятностного распределения числа вызовов пожарных подразделений города установлено, что в целом поток вызовов принимает стационарный вид и описывается законом распределения Пуассона, а время занятости пожарных подразделений на месте вызова подчиняется закону Эрланга, что позволяет использовать известные математические модели в исследовании процессов функционирования гарнизона противопожарной службы.

Список литературы

1. Брушлинский, Н.Н. Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы: учебник [Текст] / Н.Н. Брушлинский. – М.: МИПБ МВД России, 1998. – 255 с.
2. Теоретические основы организации и управления деятельностью противопожарной службы. Моделирование процесса ее функционирования [Текст] / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов, Е.М. Алехин, Ю.И. Коломиец // Пожаровзрывобезопасность. – 2002. – № 1. – С. 3–15.
3. Захаров, И.А. Информационно-аналитическая поддержка управления пожарно-спасательными подразделениями при реагировании на крупные пожары [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10 / Захаров Игорь Анатольевич. – М., 2018. – 129 с.
4. Соколов, С. В., Захаров, И. А. Оценка возможностей противопожарной службы города Астаны по обеспечению необходимого количества сил и средств при возникновении пожара на объекте международного выставочного комплекса «ЭКСПО – 2017» [Текст] / С.В. Соколов, И.А. Захаров // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2017. – № 2. – С. 53–58. DOI: 10.25257/FE.2017.2.53-58.
5. Захаров И. А., Аманкешулы Д., Шахуов Т. Ж. Проблемно-ориентированные имитационные системы для автоматизированного проектирования экстренных и аварийно-спасательных служб города // Вестник Кокшетауского технического института. – 2020. - № 1 (37). - С. 70-77.
6. Брушлинский, Н. Н., Соколов, С. В. Математические методы и модели управления в Государственной противопожарной службе: учебник [Текст] / Н. Н. Брушлинский, С. В. Соколов. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2011. – 255 с.

References

1. Brushlinskij, N. N. Sistemnyj analiz deyatel'nosti Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby: uchebnik [Tekst] / N.N. Brushlinskij. – М.: МИПБ МВД России, 1998. – 255 с.
2. Teoreticheskie osnovy organizacii i upravleniya deyatel'nost'yu protivopozharnoj sluzhby. Modelirovanie processa ee funkcionirovaniya [Tekst] / N.N. Brushlinskij, S.V. Sokolov, E.M. Alekhin, YU.I. Kolomiec // Pozharovzryvobezopasnost'. – 2002. – № 1. – S. 3–15.
3. Zaharov, I.A. Informacionno-analiticheskaya podderzhka upravleniya pozharno-spasatel'nymi podrazdeleniyami pri reagirovanii na krupnye pozhary [Tekst]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.13.10 / Zaharov Igor' Anatol'evich. – М., 2018. – 129 с.
4. Sokolov, S. V., Zaharov, I. A. Ocenka vozmozhnostej protivopozharnoj sluzhby goroda Astany po obespecheniyu neobhodimogo kolichestva sil i sredstv pri vzniknovenii pozhara na ob"ekte mezhdunarodnogo vystavochnogo kompleksa «EKSPО – 2017» [Tekst] / S.V. Sokolov, I.A. Zaharov // Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya. – 2017. – № 2. – С. 53–58. DOI: 10.25257/FE.2017.2.53-58.
5. Zaharov I.A., Amankeshuly D., SHahuov T.ZH. Problemno-orientirovannye imitacionnye sistemy dlya avtomatizirovannogo proektirovaniya ekstrennyh i avarijno-spasatel'nyh sluzhby goroda. // Vestnik Kokshetauskogo tekhnicheskogo institute. 2020. - № 1 (37). - S. 70-77.
6. Brushlinskij, N. N., Sokolov, S. V. Matematicheskie metody i modeli upravleniya v Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhbe: uchebnik [Tekst] / N. N. Brushlinskij, S. V. Sokolov. – М.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2011. – 255 с.

И. Д. Күлшімбаев¹, И. А. Захаров², С. Б. Арифджанов¹

¹Қазақстан Республикасы Төтенше жағдайлар министрлігі

²Қазақстан Республикасы ТЖМ Көкшетау техникалық институты

ШАҚЫРТУЛАР АҒЫНЫНЫҢ ҚАРҚЫНДЫЛЫҒЫН ЖӘНЕ ӨРТ СӨНДІРУ БӨЛІМШЕЛЕРІНІҢ ЖҰМЫСПЕН ҚАМТЫЛУ УАҚЫТЫН ЕСЕПТЕУДІ МОДЕЛЬДЕУ

Аңдатпа. Мақалада өрт сөндіру бөлімшелерінің жедел қызметінің тиімділігін арттыру тәсілдерін бағалау және әзірлеумен байланысты мәселенің шешімі қарастырылған. Теориялық ықтималдылықты анықтау үшін Пуассон үлестірімін қолдана отырып, Нұрсұлтан қаласының мысалында өрт сөндіру бөлімшелерінің кетуіне талдау жасалды, эмпирикалық және теориялық үлестіруді есептеу нәтижелері ұқсас сипат көрсетті, бұл қоңыраулардың ағындары тұрақты, ал өрт сөндіру бөлімшелерінің жұмыс істеу процесінің нақты уақыттық сипаттамаларын статистикалық талдау эрлангтың таралуымен сипатталады, бұл өртке қарсы қызмет гарнизонының жұмыс істеу процестерін зерттеуде белгілі математикалық модельдерді қолдануға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: модельдеу, қоңыраулар ағыны, өрт сөндіру бөлімшелері, басқару, деструктивті оқиғалар.

I. D. Kulshimbayev¹, I. A. Zakharov², S. B. Arifdjanov¹

¹Ministry for Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan

²Kokshetau Technical Institute of the MES of the Republic of Kazakhstan

SIMULATION OF THE CALCULATION OF THE CALL FLOW INTENSITY AND THE TIME OF EMPLOYMENT OF FIRE DEPARTMENTS

Abstract. The article considers the solution of the problem related to the assessment and development of approaches to improving the efficiency of operational activities of fire departments. To determine the theoretical probability, an analysis of the departures of fire departments was carried out on the example of the city of Nur-Sultan using the Poisson distribution, the results of calculations of the empirical and theoretical distribution showed a similar nature, which allowed us to conclude that the call flows are stationary, and the statistical analysis of the real time characteristics of the process of functioning of fire departments is described by the Erlang distribution, allowing us to use well-known mathematical models in the study of the processes of functioning of the garrison of the fire service.

Keywords: simulation, call flow, fire departments, management, destructive events.

Авторлар туралы мәлімет / Сведения об авторах / Information about the authors

Ибрагим Дәукесұлы Күлшімбаев - Қазақстан Республикасының Төтенше жағдайлар бірінші вице-министрі. Қазақстан, Нұр-Сұлтан, Мәңгілік Ел көшесі 8, 2-кіреберіс. E-mail: mchs@emer.kz

Игорь Анатольевич Захаров - техника ғылымдарының кандидаты, Қазақстан Республикасы ТЖМ Көкшетау техникалық институтының жедел-тактикалық пәндер кафедрасы бастығының орынбасары. Қазақстан, Көкшетау, Ақан Сері көшесі, 136. E-mail: emercom.87@mail.ru

Султан Бахтиярович Арифджанов - техника ғылымдарының кандидаты, Қазақстан Республикасы Төтенше жағдайлар министрлігі Азаматтық қорғаныс және әскери бөлімдер комитеті Азаматтық қорғаныс жөніндегі іс-шараларды жоспарлау және халықты оқыту басқармасының бастығы. Қазақстан, Нұр-Сұлтан, Мәңгілік Ел көшесі 8, 2-кіреберіс. E-mail: ayna_04112011@mail.ru

Күлшімбаев Ибрагим Даукесович - Первый вице-министр по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан. Казахстан, Нур-Султан, ул. Мәңгілік Ел 8, подъезд 2. E-mail: mchs@emer.kz

Захаров Игорь Анатольевич - кандидат технических наук, заместитель начальника кафедры оперативно-тактических дисциплин Кокшетауского технического института МЧС Республики Казахстан. Казахстан, Кокшетау, ул. Акана-серэ, 136. E-mail: emercom.87@mail.ru

Арифджанов Султан Бахтиярович - кандидат технических наук, начальник Управления планирования мероприятий по гражданской обороне и обучения населения Комитета по гражданской обороне и воинским частям Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан. Казахстан, Нур-Султан, ул. Мәңгілік Ел 8, подъезд 2. E-mail: ayna_04112011@mail.ru

Kulshimbayev Ibrahim Daukesovich - First Vice-Minister of Emergency Situations the Republic of Kazakhstan. Kazakhstan, Nur-Sultan, Mangilik El street 8, entrance 2. E-mail: mchs@emer.kz

Zakharov Igor Anatolyevich - Candidate of Technical Sciences, Deputy Head of the Department of Operational and Tactical Disciplines of the Kokshetau Technical Institute of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan. Kazakhstan, Kokshetau, Akana-Sere street, 136. E-mail: emercom.87@mail.ru

Arifdjanov Sultan Bakhtiyarovich - Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Civil Defense Planning and Population Training of the Committee on Civil Defense and Military Units of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan. Kazakhstan, Nur-Sultan, Mangilik El street 8, entrance 2. E-mail: ayna_04112011@mail.ru