

Р.І. Коваленко, ад'юнкт, НУЦЗУ

**ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ СТАТИСТИЧНИХ
ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ПРОЦЕСУ ФУНКЦІОНУВАННЯ
ДЕРЖАВНИХ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИХ ЧАСТИН
МІСТА ХАРКОВА**

(представлено д-ром техн. наук Ларіним О.М.)

Підтверджені гіпотези про те, що потоки викликів, що надходили до державних пожежно-рятувальних частин м. Харкова у 2014 році мали закон розподілу Пуассона, а часові інтервали процесу обслуговування викликів закон розподілу Ерланга. Було встановлено, що частота залучення відділень з державних пожежно-рятувальних частин м. Харкова на обслуговування викликів в 2014 році розподілялася по геометричному закону розподілу.

Ключові слова: математична статистика, закони розподілу випадкових величин, процес функціонування державних пожежно-рятувальних частин.

Постановка проблеми. Для вирішення організаційно-управлінських проблем, що виникають в процесі функціонування державних пожежно-рятувальних частин (ДПРЧ) в наш час використовуються різноманітні математичні моделі. При розробці моделі процесу функціонування будь-якої системи, необхідно спочатку провести детальне дослідження даної системи, здійснити її опис, визначити параметри, які її характеризують і після цього знайти їх математичний опис. Побудова математичних моделей функціонування ДПРЧ є необхідною умовою для вирішення багатьох, досить важливих для практичної діяльності питань, зокрема для обґрунтування їх штатної чисельності, технічного оснащення, дислокації, стратегії і тактики їх функціонування. Знання основних статистичних закономірностей процесу функціонування ДПРЧ значно спрощує процес математичного моделювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботах [1-5] було визначено, що окремі процеси які мають місце в оперативній роботі пожежних та аварійно-рятувальних підрозділів характеризуються певними статистичними закономірностями. В ході проведення досліджень [1;4] було встановлено, що потоки викликів, які надходять до державних пожежно-рятувальних частин можна охарактеризувати законом розподілу Пуассона, а часові інтервали процесу обслуговування викликів згідно [4] законом розподілу Ерланга.

Постановка завдання та його вирішення. Для виявлення нових та підтвердження відомих основних закономірностей, що властиві процесу функціонування ДПРЧ м. Харкова необхідно провести детальне дослідження за

допомогою методів математичної статистики і встановити відповідні закони розподілу. Необхідні статистичні дані були наведені у роботі [6].

Спочатку необхідно дослідити потік викликів, що надходить до ДПРЧ м. Харкова і встановити відповідний закон розподілу. Як було вже згадано вище в роботах [1;4] було встановлено, що потік викликів, які надходять до ДПРЧ підкоряється закону Пуассона

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

де $P_k(t)$ – ймовірність того, що за час t надійде k викликів до ДПРЧ; λ – середнє число викликів в одиницю часу; $k = 0, 1, 2, 3, \dots$.

Для перевірки даної гіпотези необхідно дослідити окремо кожен потік викликів, що надходили до 19-ти ДПРЧ м. Харкова впродовж 2014 року, при цьому ми використали програмний продукт STATISTICA. Критерієм узгодженості було обрано критерій Колмогорова-Смірнова, так як його використання допускається при кількості спостережень $n \geq 20$ (в нашому випадку $n = 365$).

В програмі STATISTICA було отримано емпіричну $F^*(x)$ і гіпотетичну $F(x)$ функції розподілу і за наступною формулою обчислено критерій Колмогорова-Смірнова ρ [7]

$$\rho = \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2}} \cdot \sup |F^*(x) - F(x)|, \quad (2)$$

де n_1 – значення змінної емпіричної функції розподілу; n_2 – значення змінної гіпотетичної функції розподілу.

При $n \rightarrow \infty$ розподіл статистики ρ зводиться до розподілу Колмогорова, тому користуючись довідковими даними [8] було визначено критичне значення критерію Колмогорова $\rho_{кр}$ при обраному критерію значимості 0,05, який становить 1,3581. У випадку, коли $\rho < \rho_{кр}$ гіпотеза про те, що потік викликів, які надходять до ДПРЧ м. Харкова підкоряється закону розподілу Пуассона підтверджується. На рис. 1 відображені діаграми емпіричного і теоретичного потоку числа викликів, а в табл. 1 представлені їх числові характеристики.

Було встановлено, що критерій Колмогорова-Смірнова становить 0,0088, що значно менше його критичного значення, тобто висунуту гіпотезу можна підтверджувати.

Аналогічним чином було проведено дослідження для решти 18-ти ДПРЧ м. Харкова. Значення критерію Колмогорова-Смірнова для них відображені в табл. 2, вони не перевищують критичне значення $\rho_{кр}$, тому можна зробити висновок про те, що число викликів, які надходять до ДПРЧ м. Харкова розподіляються за законом Пуассона.

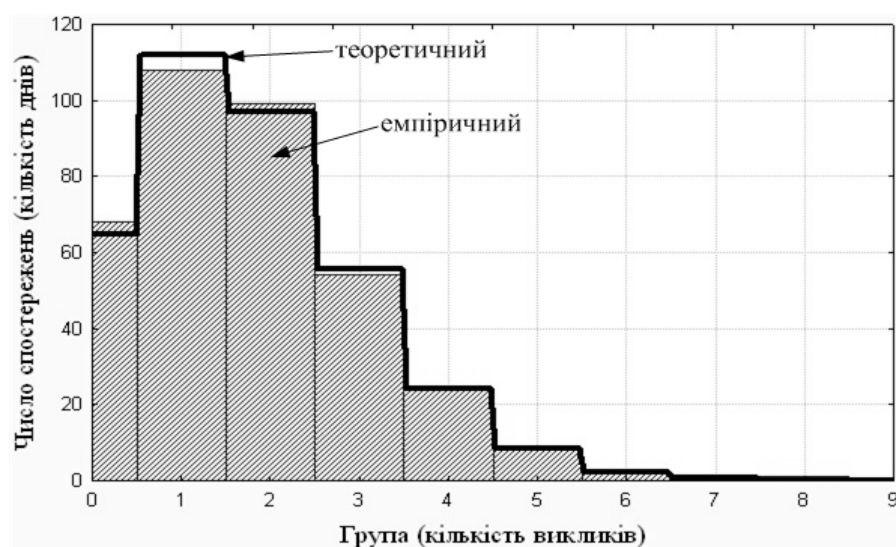


Рис. 1. Порівняння емпіричного і теоретичного розподілу числа викликів, що надходили до ДПРЧ-9 впродовж 2014 року (закон Пуассона: $\rho=0,0088 < \rho_{кр}=1,3581$)

Табл. 1. Числові характеристики емпіричного і теоретичного розподілу числа викликів, які надходили до ДПРЧ-9 впродовж 2014 року

Група (кількість одночасних викликів)	Емпірична частота	Теоретична частота
0	68	64,7887
1	108	112,0045
2	99	96,8148
3	54	55,7901
4	24	24,1120
5	8	8,3368
6	2	2,4021
7	1	0,5932
> 7	1	0,1579

На рис. 2 зображений загальний алгоритм процесу функціонування ДПРЧ, який характеризується певними часовими характеристиками, які згідно досліджень [4] є взаємопов'язаними, і з ймовірісно-статистичної точки зору є неперервними випадковими величинами, які можуть бути описані відповідними законами розподілу.

Згідно [9] розподіл Ерланга з параметрами n і μ описує розподіл тривалості інтервалу часу до виникнення n подій процесу Пуассона з параметром μ (гамма-розподіл при параметрах функції розподілу $\lambda = n \cdot \mu$ і $k = n$ називається потоком розподілу Ерланга), який визначається за формулою

$$\mu = \frac{(k-1)}{t_{\text{сер}}}, \quad (3)$$

де $k = 0, 1, 2, 3, \dots$; $t_{\text{сер}}$ – середнє значення часової характеристики.

Табл. 2. Значення критерію узгодженості Колмогорова-Смірнова для емпіричного і теоретичного законів розподілу викликів, які надходили до ДПРЧ м. Харкова впродовж 2014 року

ДПРЧ м. Харкова	ДПРЧ-1	ДПРЧ-17	ДПРЧ-32	ДПРЧ-5	ДПРЧ-18	ДПРЧ-22	ДПРЧ-27	ДПРЧ-36	ДПРЧ-8	ДПРЧ-25	ДПРЧ-2	ДПРЧ-11	ДПРЧ-4	ДПРЧ-41	ДПРЧ-26	ДПРЧ-7	ДПРЧ-6	ДПРЧ-3
Значення критерію Колмогорова-Смірнова, ρ	0,02169	0,04077	0,00551	0,01881	0,04175	0,03301	0,01767	0,07397	0,01081	0,00363	0,02534	0,03754	0,01202	0,02234	0,00759	0,00951	0,02162	0,00368



Рис. 2. Загальний алгоритм процесу оперативного функціонування ДПРЧ

Перевіримо цю гіпотезу знову скориставшись програмним продуктом STATISTICA. В ході досліджень проведених у роботі [6], було отримано часові характеристики 2-х часових інтервалів: часу прямування особового складу (о/с) на пожежних та аварійно-рятувальних автомобілях (ПРА) від місця дислокації ДПРЧ до місця виклику (рис. 3) і часу від моменту виїзду о/с на ПРА з ДПРЧ до моменту їх повернення на місце постійної дислокації (рис. 4).

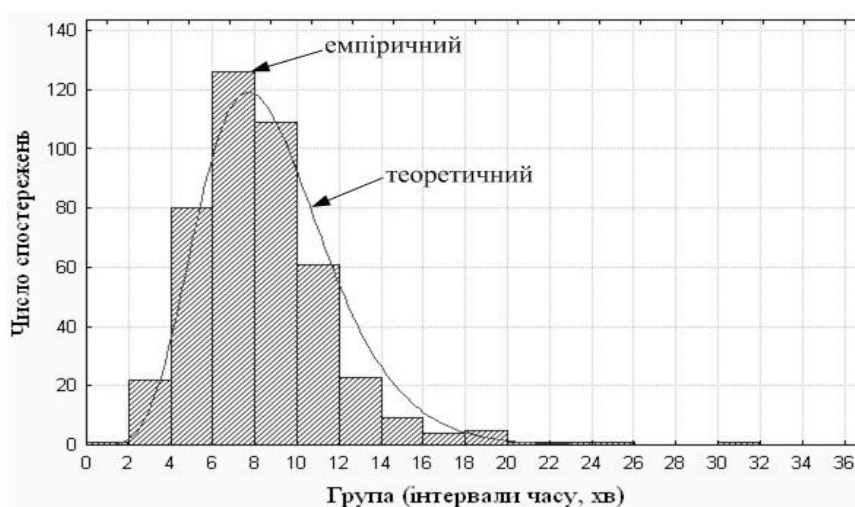


Рис. 3. Порівняння емпіричного і теоретичного розподілу інтервалу часу прибуття о/с ДПРЧ-11 на ПРА до місця виклику ($\rho=0,0792 < \rho_{кр}=1,35810$)

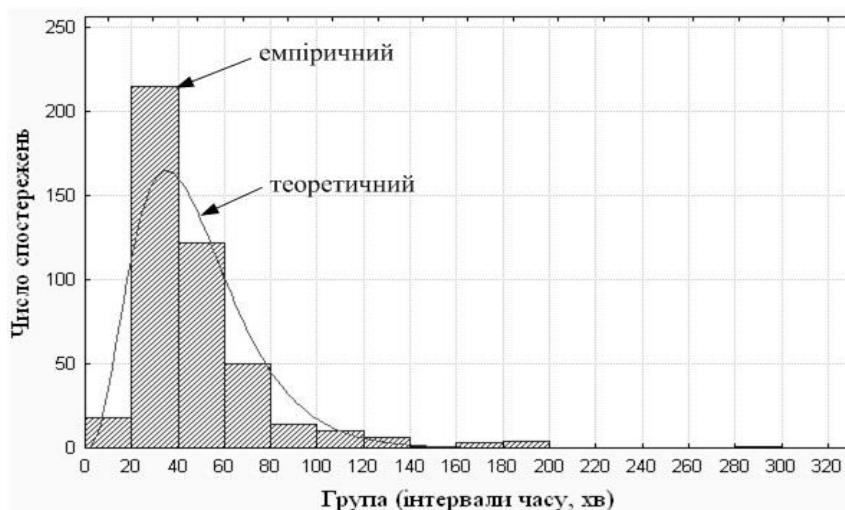


Рис. 4. Порівняння емпіричного і теоретичного розподілу інтервалу часу від моменту виїзду о/с на ПРА з ДПРЧ-11 до моменту повернення їх на місце постійної дислокації ($\rho=0,08757 < \rho_{кр}=1,3581$)

В табл. 3 і 4 відображені результати досліджень закону розподілу Ерланга для вищеназваних двох часових інтервалів для решти 18-ти ДПРЧ м. Харкова.

Табл. 3. Значення критерію узгодженості Колмогорова-Смірнова для емпіричного і теоретичного законів розподілу часового інтервалу від моменту виїзду о/с на ПРА від місця дислокації ДПРЧ до місця виклику в м. Харкові впродовж 2014 року

ДПРЧ м. Харкова	ДПРЧ-1	ДПРЧ-17	ДПРЧ-32	ДПРЧ-5	ДПРЧ-18	ДПРЧ-22	ДПРЧ-27	ДПРЧ-36	ДПРЧ-8	ДПРЧ-25	ДПРЧ-2	ДПРЧ-9	ДПРЧ-4	ДПРЧ-41	ДПРЧ-26	ДПРЧ-7	ДПРЧ-6	ДПРЧ-3
Значення критерію Колмогорова-Смірнова, ρ	0,10494	0,07174	0,13333	0,07335	0,06259	0,08479	0,0984	0,16518	0,17366	0,10238	0,04005	0,10424	0,08095	0,06235	0,09434	0,07055	0,0673	0,10198

Табл. 4. Значення критерію узгодженості Колмогорова-Смірнова для емпіричного і теоретичного законів розподілу часового інтервалу від моменту виїзду о/с на ПРА з ДПРЧ до моменту їх повернення на місце постійної дислокації в м. Харкові впродовж 2014 року

ДПРЧ м. Харкова	ДПРЧ-1	ДПРЧ-17	ДПРЧ-32	ДПРЧ-5	ДПРЧ-18	ДПРЧ-22	ДПРЧ-27	ДПРЧ-36	ДПРЧ-8	ДПРЧ-25	ДПРЧ-2	ДПРЧ-9	ДПРЧ-4	ДПРЧ-41	ДПРЧ-26	ДПРЧ-7	ДПРЧ-6	ДПРЧ-3
Значення критерію Колмогорова-Смірнова, ρ	0,10972	0,2686	0,08346	0,10239	0,08118	0,12701	0,09088	0,08733	0,08732	0,10287	0,07377	0,05416	0,11627	0,09496	0,22139	0,10808	0,09369	0,08756

З табл. 3 можна зробити висновок про підтвердження висунутої гіпотези.

В процесі функціонування ДПРЧ досить часто трапляються випадки, коли на обслуговування викликів залучається досить значна кількість відділень. У роботі [6] було визначено, що найчастіше на обслуговування виклику виїздить не більше 2-х оперативних відділень, але у 2014 році траплялися випадки одночасного залучення 19-ти відділень (рис. 5).

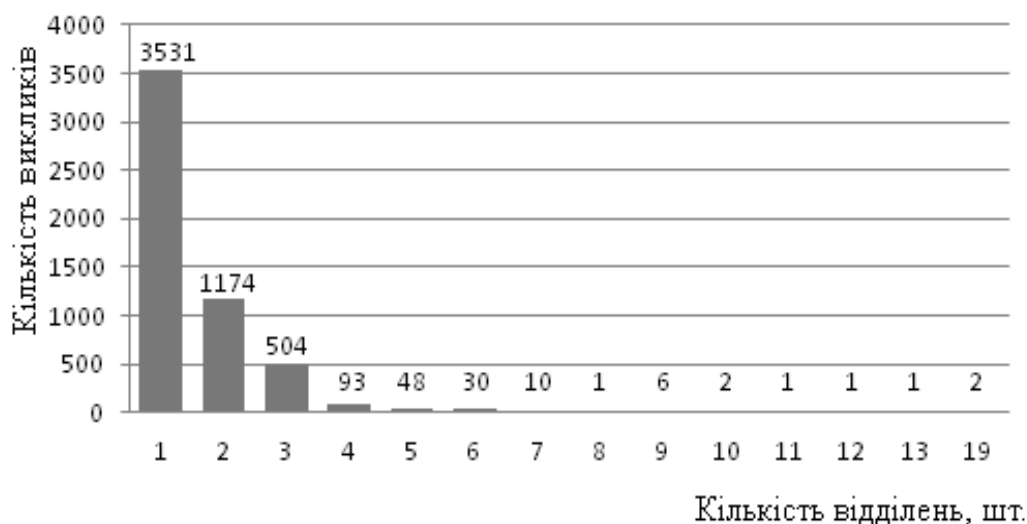


Рис. 5. Кількість відділень ДПРЧ, які виїздили на обслуговування викликів в місті Харкові у 2014 році

Аналізуючи діаграму зображену на рис. 5, можна зробити висновок, що частоту залучення оперативних відділень можна описати геометричною прогресією.

Згідно [7], якщо випадкова величина має ряд розподілу, який відображений в табл. 5, то вважають, що вона розподіляється за геометричним законом розподілу, де ξ – число випробувань, які необхідно провести перед тим, як з'явиться перший успіх ($\xi = 0, 1, 2, 3, \dots, n$), P – відповідна імовірність, p – імовірність настання успіху, а q – імовірність настання невдачі.

Табл. 5. Ряд розподілу випадкової величини по геометричному закону

ξ	0	1	2	...	n	...
P	p	qp	q ² p	...	q ⁿ p	...

Результат перевірки даної гіпотези зображений на рис. 6.

З рис. 6 можна зробити висновок, що гіпотезу про геометричний закон розподілу частоти залучення відділень з ДПРЧ м. Харкова на обслуговування викликів в 2014 році підтверджено.

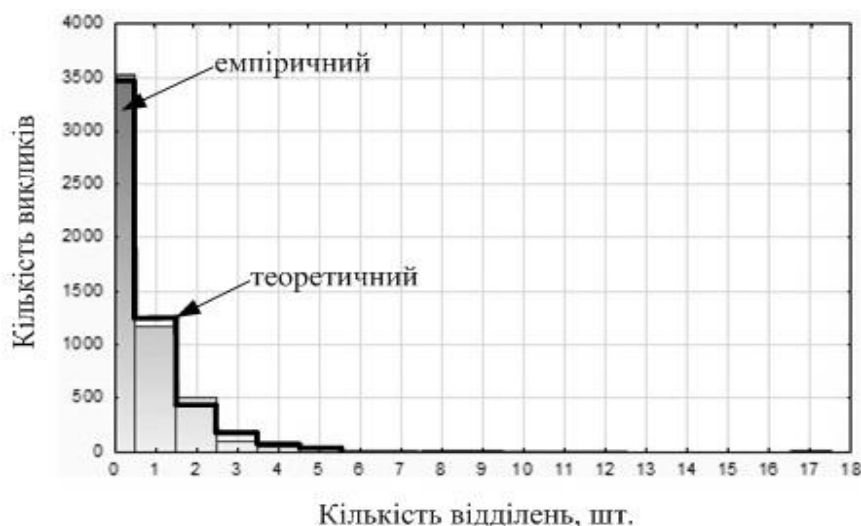


Рис. 6. Порівняння емпіричного і теоретичного розподілу частоти залучення відділень з ДПРЧ на обслуговування викликів в м. Харкові впродовж 2014 року ($p=0,01076 < p_{кр}=1,3581$)

Висновки. Підтверджені гіпотези про те, що потоки викликів, що надходили до ДПРЧ м. Харкова у 2014 році мали закон розподілу Пуассона, а часові інтервали такі як час прямування о/с на ПРА від місця дислокації ДПРЧ до місця виклику і часовий інтервал від моменту виїзду о/с на ПРА з ДПРЧ до моменту їх повернення на місце постійної дислокації мали закон розподілу Ерланга. Було встановлено, що частота залучення відділень з ДПРЧ м. Харкова на обслуговування викликів в 2014 році мала геометричний закон розподілу.

Результати проведеного дослідження дозволяють краще зрозуміти статистичні закономірності процесу функціонування ДПРЧ, а тому мають важливе теоретичне значення, бо спрощують завдання побудови математичних моделей, які його описують.

ЛІТЕРАТУРА

1. Анциферов Д.С. Анализ закономерностей потока вызовов противопожарной службы Кемеровской области [Электронный ресурс] / Д.С. Анциферов // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». – 2014. – №1 (53). – С. 75-77. – Режим доступа к журн. : <http://academygps.ru/uploads/files/uhxDoQo7S81igVBDJh19.pdf>.

2. Алехин Е.М. Проблемно-ориентированные имитационные системы для автоматизированного проектирования и стратегического управления экстренными и аварийно-спасательными службами городов [Электронный ресурс] / Е.М. Алехин, Н.Н. Брушлинский, П. Вагнер, Ю.И. Коломиец, С.В. Соколов // Вестник РАЕН. – 2012. – №3. – С. 27-34. – Режим доступа к журн.: http://raen.info/activities/publishing/vestnik/search_res.shtml?_djem_id=2457&year=2012&number=3.

3. Войтович Д.П. Підвищення ефективності функціонування пожежно-рятувальних підрозділів в процесі ліквідації пожеж у містах : авто-

реф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 21.06.02 / Войтович Дмитро Петрович. – Львів, 2011. – 23 с.

4. Алехин Е.М. Разработка компьютерной имитационной системы для проектирования и экспертизы деятельности противопожарных служб городов автореф. дис. на соиск. науч. степени канд. техн. наук : 05.13.10, 05.13.06 / Алехин Евгений Михайлович. – М., 1998. – 24 с.

5. Росоха В.О. Моделювання деяких параметрів системи протипожежного захисту великих міст [Електронний ресурс]: навч. посібник / В.О. Росоха, В.Г. Палюх, В.М. Комяк, А.Г. Коссе. – Х.: 2005. – 110 с. – Режим доступу : <http://univer.nuczu.edu.ua/e-books/004/index.html>.

6. Ларін О.М. Дослідження параметрів функціонування пожежно-рятувальних підрозділів міста Харкова на сучасному етапі для розробки програмного блоку «ПРОГНОЗ НС» / О.М. Ларін, А.Я. Калиновський, Р.І. Коваленко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – 2015. - №62 (1171). – С. 77-83.

7. Бочаров П.П. Теория вероятностей. Математическая статистика / П.П. Бочаров, А.В. Печинкин. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 296 с.

8. Большев Л.Н. Таблицы математической статистики / Л.Н. Большев, Н.В. Смирнов. – М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 416 с.

9. Королук В.С. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В.С. Королук, Н.И. Портенко, А.В. Скороход, А.Ф. Турбин. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 640 с.

Р.И. Коваленко

Исследование основных статистических закономерностей процесса функционирования государственных пожарно-спасательных частей города Харькова

Подтверждены гипотезы о том, что потоки вызовов, которые поступали в государственные пожарно-спасательные части г. Харькова в 2014 году имели закон распределения Пуассона, а временные интервалы процесса обслуживания вызовов закон распределения Эрланга. Было установлено, что частота привлечения отделений из государственных пожарно-спасательных частей г. Харькова на обслуживание вызовов в 2014 году распределялась по геометрическому закону распределения.

Ключевые слова: математическая статистика, законы распределения случайных величин, процесс функционирования государственных пожарно-спасательных частей.

R.I. Kovalenko

Research of the main statistical regularities of process of functioning of the state rescue and fire fighting parts of the city of Kharkiv

Confirming the hypothesis that the call flow, which enters the state fire-rescue part of the city of Kharkov in 2014 had a Poisson distribution, and the time intervals service call process Erlang distribution law. It was found that the frequency of involvement of departments of state fire and rescue units city of Kharkiv on service calls in 2014 was allocated for the geometric distribution law.

Keywords: mathematical statistics, laws of distribution of random variables, the process of functioning of the state fire and rescue units.