

В. Я. Вилисов¹, В. Л. Семиков², С. П. Алексеев²
(¹ГБОУ ВО МО "Технологический университет", ²Академия ГПС МЧС России;
e-mail: vvib@yandex.ru)

СИСТЕМА МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕАГИРОВАНИЯ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ

Предложен комплекс моделей и подходов к анализу противопожарных мероприятий и получению оценок эффективности деятельности подразделений противопожарной службы (ППС). В качестве базовых моделей использованы линейные и нелинейные регрессионные модели, настраиваемые по существующим статистическим данным или по данным, получаемым в ходе имитационного моделирования деятельности ППС. Основным логическим звеном анализа является циклограмма типовой процедуры работы подразделений ППС. Предложена укрупненная функциональная схема комплекса моделей, призванных обеспечить поддержку системы управления и обеспечения эффективной работы ППС.

Ключевые слова: время реагирования, аналитическая модель, статистические данные, аппроксимация, гамма-распределение, оценивание.

Введение

В условиях роста и укрупнения городов пожары часто являются причиной человеческих жертв и значительного материального ущерба. Для борьбы с последствиями пожаров во всём мире широко привлекаются самые эффективные достижения технического прогресса и информационных технологий. Однако человек по-прежнему является неотъемлемой частью борьбы с огнём в силу неоднозначности, сложности и трудноформализуемости огнеборства как сложного, ограниченного во времени процесса.

Пожарная практика и пожарная статистика [8, 9] достаточно велика, но в то же время содержит информационные пробелы, которые очень важны для обеспечения эффективности в борьбе с огнём, например, время с момента возникновения пожара и др. Вместе с тем, существует огромная потребность в постоянном повышении эффективности борьбы с огнём **противопожарной службы (ППС)** – в снижении числа погибших, пострадавших и наносимого пожарами материального ущерба. ППС приходится действовать в постоянно изменяющейся среде. Так, появление новых технических средств в борьбе с огнём, эффективных автомобилей, экипировки, пожарных роботов и т.п. работает на повышение эффективности, но сильная загруженность дорожной сети городов затрудняет их применение. И таких противоборствующих факторов можно приводить много.

Моделирование различных аспектов противопожарной деятельности является важным инструментом [3, 4, 13] её мониторинга, оптимизации и выбора новых способов использования достижений современных технологий, компенсации негативных факторов для сокращения числа погибших, пострадавших и ущерба от пожаров. Далее рассмотрен один из вариантов системного подхода к построению комплекса имитационных и аналитических моделей, предназначенных для текущего анализа вариантов повышения эффективности работы подразделений ППС при реагировании подразделений ППС.

Типовая циклограмма и основные её элементы

Важными параметрами, во многом определяющими исход работы ППС, являются временные характеристики пожара [3, 4, 7]. На рис. 1. приведена типовая циклограмма реагирования на сообщение о пожаре силами и средствами n караулов ППС, где отмечены основные моменты времени развития пожара.

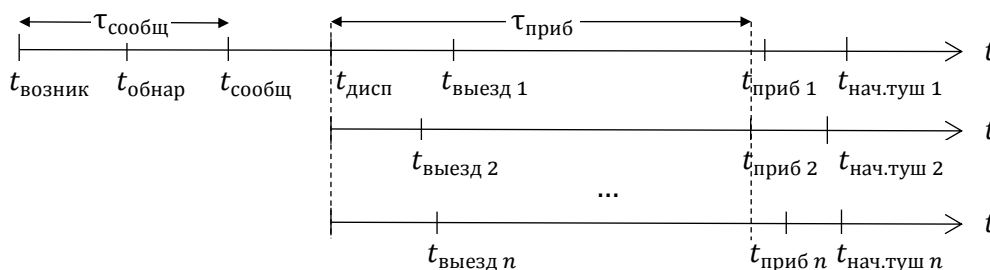


Рис. 1. Циклограмма реагирования на сообщение о пожаре

Здесь $t_{\text{возник}}$ – момент (астрономическое время) возникновения пожара; $t_{\text{обнар}}$ – момент обнаружения возгорания; $t_{\text{сообщ}}$ – момент сообщения о пожаре в ППС; $t_{\text{дисп}}$ – момент выдачи диспетчером ППС команды n подразделениям (караулам) для выезда к месту пожара; $t_{\text{выезд } i}$ – момент выезда i -го караула к месту пожара, где номер выезжающего на пожар караула принимает значения $i = 1, 2, \dots, n$; $t_{\text{приб } i}$ – момент прибытия i -го караула к месту пожара; $t_{\text{нач.туш } i}$ – момент начала тушения i -м караулом пожара; $\tau_{\text{приб}}$ – интервал времени прибытия первого (с момента команды диспетчера) караула к месту пожара (на циклограмме – это караул №2); $\tau_{\text{сообщ}}$ – интервал времени поступления сообщения диспетчеру (с момента возникновения пожара, то есть $\tau_{\text{сообщ}} = t_{\text{сообщ}} - t_{\text{возник}}$).

Параметр $\tau_{\text{приб}}$ является одним из ключевых, существенно влияющих на такие основные показатели эффективности реагирования ППС [3, 4, 8], как:

- число человеческих жертв (может измеряться таким общепринятым показателем, как риск R_2 – число жертв на 100 пожаров);
- число пострадавших на пожарах;
- материальный ущерб (u).

Анализ статистических данных

Одним из ключевых параметров, определяющих эффективность ППС, является время прибытия на пожар первого подразделения ППС. Традиционно [3, 4] под этой характеристикой понимается $\tau_{\text{приб}}$ и к ней привязываются показатели (например, R_2 и u). Однако фактически (рис. 1) в большей степени значимым был бы момент $t_{\text{приб}} = \min_i t_{\text{приб } i}$, который учитывает такой независимый от ППС параметр, как $\tau_{\text{сообщ}}$. Из всех временных интервалов, влияющих на показатели, лишь $\tau_{\text{сообщ}}$ присутствует в статистических данных ППС

как очень приблизительная оценка. Однако имеются исследования [5], позволяющие косвенными методами оценить и эту величину. Представим статистическую модель этой величины в форме Гамма-распределения, построенного по статистике, приведённой в [5] для ППС г. Иркутска. Представление всех основных интервалов времени ППП (рис. 1) в виде аналитических моделей распределений как сверток статистических данных позволяет упростить имитационное моделирование, оценивание и интерпретацию результатов. Традиционно рассматриваемые временные интервалы принято описывать [3, 4] распределением Эрланга того или иного порядка, однако, как известно [2], оно является частным случаем Гамма-распределения и отличается лишь целочисленностью первого (α) из двух параметров (α, β). Плотность вероятностей Гамма-распределения определена лишь в неотрицательной области ($t \geq 0$) и имеет вид:

$$f(t, \alpha, \beta) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} t^{\alpha-1} e^{-\frac{t}{\beta}}, \quad (1)$$

где $\Gamma(\alpha)$ – гамма-функция Эйлера;

α – параметр формы;

β – параметр масштаба.

Следуя [5], приведём статистические данные $\tau_{\text{сообщ}}$ (табл. 1). На рис. 2 приведены результаты аппроксимации статистических данных как распределением Эрланга, так и Гамма-распределением.

Таблица 1

Выборка $\tau_{\text{сообщ}}$ по г. Иркутску

Время до сообщения о пожаре $\tau_{\text{сообщ}}$, мин		Количество пожаров	Относительные частоты	Плотность относительных частот	Гамма-распределение	Распределение Эрланга
от	до					
0	3	774	0,1460	0,0487	0,0534	0,0433
3	5	800	0,1509	0,0755	0,0644	0,0705
5	10	1193	0,2251	0,0450	0,0560	0,0664
10	15	969	0,1828	0,0366	0,0372	0,0414
15	20	643	0,1213	0,0243	0,0225	0,0216
20	30	540	0,1019	0,0102	0,0098	0,0071
30	40	220	0,0415	0,0042	0,0030	0,0014
40	50	93	0,0175	0,0018	0,0009	0,0002
50	60	51	0,0096	0,0010	0,0002	0,0000
60	70	18	0,0034	0,0003	0,0001	0,0000

Аппроксимация выполнена с помощью *метода наименьших квадратов (МНК)* с использованием надстройки "Поиск решений" MS Excel. При этом аппроксимация проводилась по точкам полигона плотностей относительных частот [2].

Вычисления показали, что для данных, представленных в табл. 1, погрешность аппроксимации как невязка суммы плотностей относительных частот выборки и суммы значений Гамма-распределения составила 0,04 %

(при оценках параметров методом обобщённого псевдоградиента: $\alpha = 1,54$; $\beta = 7,31$), а для распределения Эрланга – 1,85 % (при оценках параметров: $\alpha = 2$; $\beta = 5,08$). Аналогичный сравнительный анализ для других параметров циклограммы реагирования показывает также превосходство точности аппроксимации Гамма-распределением над распределением Эрланга (что неудивительно, так как любая дискретизация непрерывных величин снижает точность модели, внося погрешность квантования).

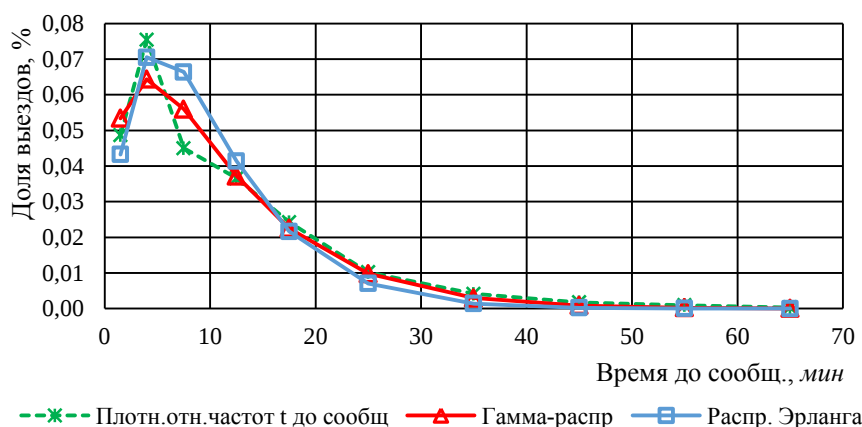


Рис. 2. Аппроксимация $\tau_{\text{общ}}$

Важной составляющей в комплексе моделей оценки эффективности является модель, связывающая характеристики прибытия первого подразделения ($\tau_{\text{приб}}$ и/или $t_{\text{приб}}$) с показателями эффективности (например, R_2 и u). Эта взаимосвязь может быть представлена в аналитическом виде уравнениями линейной или нелинейной регрессии [11], или с использованием аппроксимаций, приведённых выше. Исходные данные для такой аппроксимации содержатся в статистических сборниках [9] или в некоторых аналитических публикациях [4]. В табл. 2 приведены статистические данные из [4], отражающие эмпирические зависимости показателей R_2 , u , t от параметра $\tau_{\text{приб}}$.

Таблица 2

Показатели пожаров по России

Время прибытия $\tau_{\text{приб}}$	Риск $R_2 \cdot 10^{-2}$	Доля ущерба u	Доля выездов t
1	6,5	1,1	1,2
2	7,6	5,7	4
3	7,5	9	7,4
4	7,1	7	8,6
5	7,2	8,2	10,8
6	6,7	7,1	9
7	7,1	6,6	7,5
8	6,8	5,4	6,4
9	6,9	5,7	5,3
10	7,5	7,4	6,6
13	7,2	11,6	10,5
18	8,3	10	8,4
25	8,6	6,7	6,5
60	10,2	8,5	6,8

Показатель u в табл. 2 приведён в относительных единицах (доля от общего объёма ущерба в %), величина m также отражает долю выездов, укладываемых в тот или иной интервал $\tau_{\text{приб}}$. Показатели и их аппроксимации представлены на рис. 3.

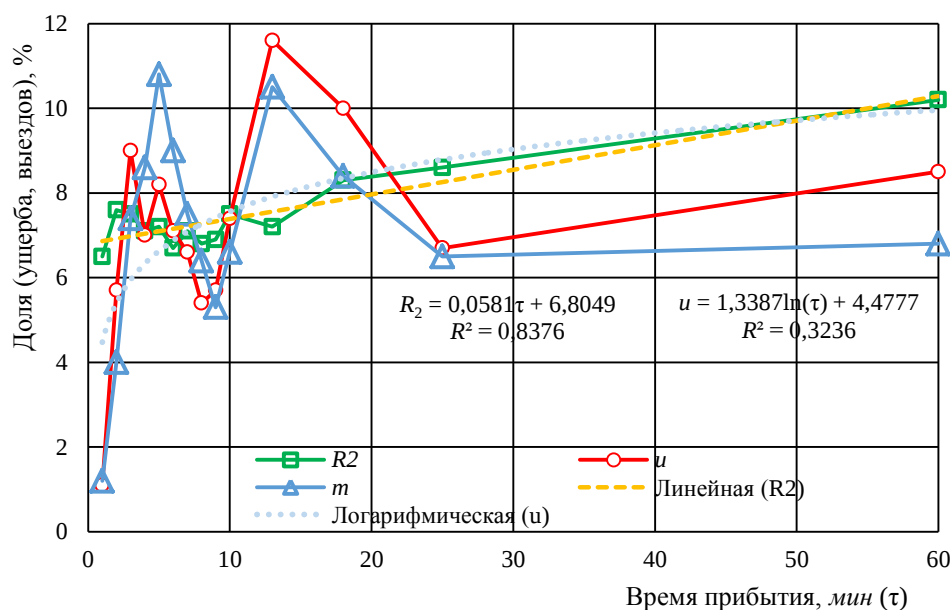


Рис. 3. Показатели количества жертв (R_2) и относительного ущерба (u), доли выездов (m) в зависимости от времени прибытия первого подразделения, а также аппроксимация R_2 и u

Статистический анализ приведённых данных с использованием средств надстройки "Анализ данных" MS Excel показал, что зависимость $R_2(\tau_{\text{приб}})$ может быть представлена линейной регрессионной моделью (рис. 3) с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,8376$:

$$R_2(\tau_{\text{приб}}) = 6,8049 + 0,0581\tau_{\text{приб}}. \quad (2)$$

Зависимость ущерба $u(\tau_{\text{приб}})$ не может быть описана линейной моделью (коэффициент детерминации $R^2 = 0,0982$). Из нелинейных моделей наибольшее согласие ($R^2 = 0,3236$) удаётся получить (рис. 3) для логарифмической модели, степень адекватности которой нельзя считать достаточной:

$$u(\tau_{\text{приб}}) = 4,4777 + 1,3387\ln(\tau_{\text{приб}}). \quad (3)$$

Характер явно нелинейных зависимостей $u(\tau_{\text{приб}})$ и $m(\tau_{\text{приб}})$ с большой долей вероятности обусловлен тем, что используемая статистика отражает две группы пожаров – для городов и сельской местности. Для этих двух категорий нормативы среднего значения $\tau_{\text{приб}}$ составляют соответственно 10 мин и 20 мин [8, 12]. Два явных экстремума видны и на рис. 3 для показателей u и m . Поэтому более адекватной представляется зависимость в виде взвешенной суммы двух Гамма-распределений. Веса должны отражать доли городских и сельских пожаров, тогда линейная композиция двух Гамма-распределений, аналогичных (1), будет иметь вид:

$$u(\tau_{\text{приб}}) = \varphi u(\tau_{\text{приб}}, \alpha_1, \beta_1) + (1 - \varphi)u(\tau_{\text{приб}}, \alpha_2, \beta_2), \quad (4)$$

где весовой коэффициент $\varphi \in [0; 1]$.

При аппроксимации такой функцией следует найти 5 её параметров: $\alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2, \varphi$. Тогда при $\varphi = 1$ функция будет отражать лишь показатель относительного ущерба для городских пожаров, а при $\varphi = 0$ – для сельских. Как в целом по России, так и для каждого отдельного региона этот показатель будет своим. Аппроксимация на основе МНК методом эволюционного поиска с использованием надстройки "Поиск решений" MS Excel позволила получить следующие оценки параметров линейной композиции (4) Гамма-распределений (1): $\alpha_1 = 2,91$; $\beta_1 = 3,61$; $\alpha_2 = 3,87$; $\beta_2 = 0,86$; $\varphi = 0,82$. При этом погрешность аппроксимации составила 1,25 % (что эквивалентно коэффициенту детерминации $R^2 = 0,9875$). Такая точность вполне приемлема для использования модели при оценке относительного (а при известном общем объёме и абсолютного) ущерба от пожара при заданной величине $\tau_{\text{приб}}$.

Другие составляющие циклограммы реагирования ППС также можно представить Гамма-распределениями, оценки параметров которых могут быть получены по статистическим данным из документации ППС.

Мероприятия, способствующие снижению времени прибытия первого подразделения

К числу таковых отнесём ряд предложений, эффективность которых и предстоит проверить с помощью комплекса моделей, предлагаемых в данной работе. Основные из них [1, 12] следующие:

Предложение 1 – установить сетевые терминалы (например, планшеты) на пожарные автомобили для передачи на них диспетчером местной пожарной части текста путёвки в процессе движения автомобиля.

Предложение 2 – предоставить возможность диспетчерам пожарной части и **Центра управления в кризисных ситуациях (ЦУКС)** при помощи системы ГЛОНАСС отслеживать движение пожарных автомобилей на пожар и в процессе работы на пожаре.

Предложение 3 – для сокращения времени выезда подразделений из гаража местной пожарной части по сигналу "Тревога" установить световые табло для оперативной выдачи команд выезжающему подразделению с указанием адреса выезда.

Предложение 4 – удалить из контура сообщений о пожаре диспетчера ЦУКС субъекта РФ, а направлять сообщение о пожаре напрямую диспетчеру местной пожарной охраны столицы субъекта РФ. При этом диспетчер местной пожарной охраны должен лишь уведомлять ЦУКС субъекта РФ о высланных на пожар силах и средствах.

Предложение 5 – установить в автоматизированной системе светофорного регулирования дорожного движения режим "Зеленая волна" (или "Красная волна"), включаемый на необходимых маршрутах при выезде подразделений из гаражей.

Предложение 6 – разместить единую дежурно-диспетчерскую службу (ЕДДС-01) в пункте связи местной пожарно-спасательной части, что позволит диспетчеру ЕДДС-01 передать информацию о пожаре непосредственно диспетчеру местной **пожарно-спасательной части (ПСЧ)** и объявить сигнал "Тревога" без дополнительных задержек.

Для иллюстрации возможностей использования комплекса моделей, в частности, для оценивания эффективности внедрения предлагаемых мероприятий (и с учётом ограниченного объёма публикации) приведём расчётные данные по прогнозируемому сокращению количества погибших в пожарах R_2 .

В табл. 3 приведены предлагаемые мероприятия вместе со значениями экспертных оценок сокращения времени прибытия первого подразделения на пожар.

Таблица 3

Перечень предлагаемых мероприятий и места их применения

Предлагаемые мероприятия	Сокращение времени $t_{\text{приб}}, c$	Уровень внедрения	Категория внедрения			
			Все субъекты	Столицы субъектов	Городская местность	Сельская местность
Предложение 1	30	Наряд (отделение)	+			
Предложение 2	15	Наряд (отделение)	+			
Предложение 3	5	ПСЧ	+			
Предложение 4	60	Столица субъекта РФ		+		
Предложение 5	30	Город			+	
Предложение 6	30	ПСЧ				+

Построенная регрессионная модель (2) отражает статистическую зависимость по России в целом, то есть имеет отношение ко всем субъектам (табл. 3), поэтому оценим эффект от внедрения лишь первых трёх из шести мероприятий. Причём будем считать, что они внедряются в кратчайшие сроки, то есть "мгновенно" в начале 2018 г. и эффект может быть ощутим по состоянию на конец 2018 г.

В связи с отсутствием статистических данных на конец 2018 г., был построен прогноз количества пожаров на конец 2018 г. с использованием метода краткосрочного прогнозирования Ч. Хольта [7] и, опираясь на данные статистических сборников прошлых лет [9]. По России в целом точечная оценка этой величины составила 125883 *пожара*. Аналогичная оценка количества погибших в пожарах по России составила 7100 *человек*.

В табл. 4 приведены результаты расчёта частных эффектов (величины снижения количества людей, погибших при пожарах – ΔR_2) от внедрения первых трёх мероприятий.

Таблица 4

Эффект снижения ущерба от внедрения трёх предлагаемых мероприятий на всей территории России

Оцениваемые мероприятия	Величина снижения числа погибших людей при пожарах ΔR_2	
	На 100 пожаров	Всего, человек
Предложение 1	0,029	37
Предложение 2	0,015	18
Предложение 3	0,005	6
Итого, человек:	61	
Итого к прогнозу 2018 г., %:	0,86	

Укрупнённая функциональная схема комплекса моделей

Схема анализа эффективности реагирования подразделений ППС представлена на рис. 4.

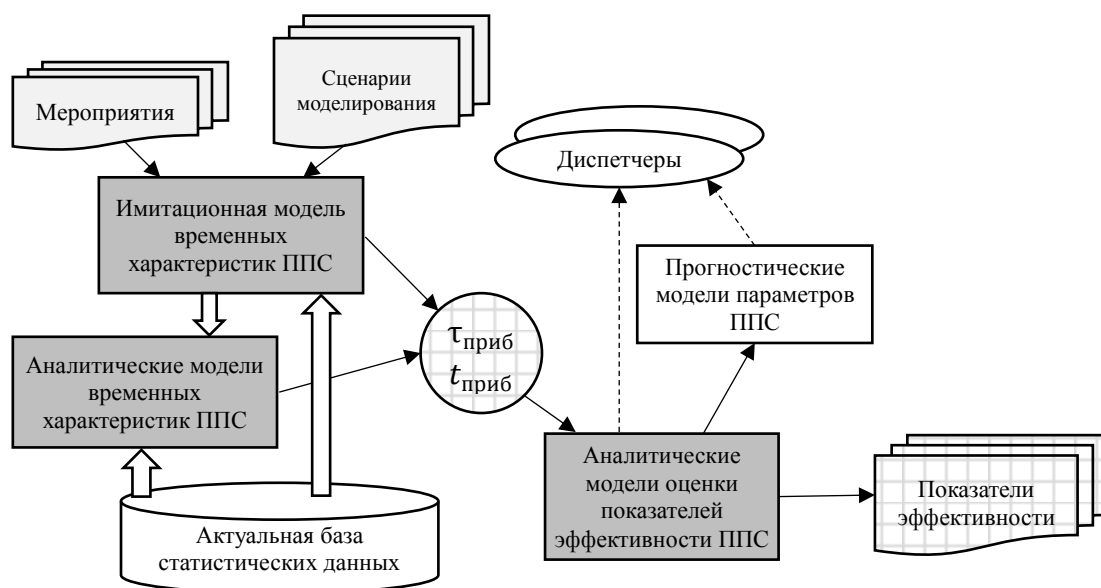


Рис. 4. Схема комплекса моделей анализа эффективности реагирования ППС

Здесь время прибытия, как момент прибытия ($t_{\text{приб}}$) или величина интервала времени прибытия ($\tau_{\text{приб}}$) с момента получения приказа, является тем ключевым показателем, по которому вычисляются оценки эффективности реагирования ППС, и которыми заканчивается анализ влияния на них различных управляемых или неуправляемых факторов процесса реагирования. В зависимости от целевых задач, решаемых с помощью комплекса моделей, в качестве ключевых могут участвовать и другие показатели реагирования.

При надлежащем наполнении и поддержке, комплекс моделей может стать одним из действенных инструментов проектирования и оперативного управления силами и средствами ППС. В идеальном варианте желательным было бы иметь все модели комплекса в аналитической форме, что позволило бы проектировщикам и диспетчерам, подставив или получив по автоматическим каналам текущие и/или необходимые исходные данные и/или параметры, быстро, достоверно и надёжно получить интересующий их вариант или решение. Особенно актуальна необходимость "быстрых" аналитических моделей, входящих в состав систем поддержки принятия решений, для диспетчеров, действующих в условиях острого дефицита времени. Однако на практике не все зависимости показателей от факторов могут быть представлены аналитическими

свёртками в силу неполноты сведений, динамики процессов, нестационарности среды и т.п. Поэтому в состав комплекса моделей, на взгляд авторов, должны входить:

- *актуальная база статистических данных* о пожарах, текущем состоянии сил и средств соответствующей зоны ответственности, о климатических условиях в данной зоне, о текущем и ретроспективном (для *прогнозирования*) трафике движения по дорогам региона, о характеристиках потенциальных объектов пожара и текущей обстановке на них;
- максимально возможное количество адекватных актуальных *аналитических моделей оценки показателей эффективности ППС*, аппроксимирующих причинно-следственные (или корреляционные, регрессионные) взаимосвязи необходимых показателей и факторов;
- актуальные статистические характеристики показателей времени реагирования подчинённых подразделений и других показателей динамики реагирования, представленные моментами и/или параметрами распределений вероятностей (*аналитические модели временных характеристик ППС*);
- *имитационные модели временных характеристик ППС*, использующие построенные аналитические модели, учитывающие актуальные и прогнозные характеристики факторов, систем и процессов, позволяющие оценивать проектные или управленческие варианты;
- библиотека *мероприятий* и/или вариантов структурных модификаций ППС, обладающих (в тех или иных условиях) потенциалом повышения эффективности работы ППС;
- средства эффективного интерфейса комплекса моделей для *диспетчеров* и/или аналитиков (проектировщиков).

Выводы

1. Предложенные в работе аналитические представления показателей реагирования и их взаимосвязи с показателями ущерба являются частью разрабатываемого комплекса моделей. Выполненная в работе аппроксимация эмпирических данных Гамма-распределением показала лучшее качество по сравнению с традиционно используемым распределением Эрланга. Эффективность предлагаемых в работе мероприятий может быть оценена непосредственно по совокупности аналитических моделей, что и проиллюстрировано для показателя R_2 , либо с использованием имитационной составляющей комплекса, которая позволит получить, например, необходимые технико-экономические оценки вариантов системы и/или алгоритмов управления. Имитационный режим позволит получить оценки показателей эффективности с учётом распределений, представленных в эмпирическом виде (например, гистограммами), а также не только точечные, но и интервальные оценки показателей, соответствующие необходимому уровню доверительной вероятности.

2. Как известно, в теории управления организационными и техническими системами (см., например, [6, 10]), существуют два основных принципа управления объектами и процессами – по отклонениям и по возмущениям. В первом случае управляющее воздействие в контуре обратной связи формируется лишь после появления отклонения контролируемого ключевого показателя от его программного или ожидаемого значения, например, время прибытия на пожар существенно превысило допустимое значение (отклонение выходного показателя от нормативного), в результате чего для обеспечения минимизации ущерба руководителем тушения пожара повышен ранг пожара, из чего последовала необходимость привлечения дополнительных подразделений. В случае управления по возмущениям, в процессе планирования операции принимаются во внимание те факторы, случайные возмущения которых могут привести к отклонениям выходного показателя от нормативного уровня, например, плотный дорожный трафик на выбранном маршруте следования в час пик может привести к неоправданному увеличению времени прибытия на пожар. Комплекс моделей, позволяющий учесть многочисленные факторы и их возможные возмущения, позволит выбрать варианты движения и другие управляющие элементы таким образом, чтобы не допустить отклонение выходных ключевых показателей от их нормативных (директивных, ожидаемых) значений.

3. Система моделей, как комплекс взаимосвязанных элементов, позволит получить и синергетический эффект. В частности, в данной работе и публикациях других авторов существенная роль отводится времени прибытия первого подразделения на пожар, но практически не уделяется внимание такому показателю, как интервал времени от момента возникновения пожара до сообщения о пожаре. В данной работе один из вариантов распределения этого показателя построен. В дальнейшем комплекс моделей может позволить увязать этот показатель с различными видами ущерба от пожаров, а значит, может быть выявлены соответствующие статистические зависимости и определена цена одной минуты задержки сообщения о возникновении пожара.

Литература

1. *Алексеев С. П.* О сокращении среднего времени прибытия первого пожарного подразделения на пожар в сельской местности // Технологии техносферной безопасности. 2015. Вып. 5 (63). С. 243-249. <http://academygps.ru/ttb>.
2. *Кремер Н. Ш.* Математическая статистика. М.: Юрайт. 2018. 259 с.
3. *Брушлинский Н. Н., Соколов С. В.* Математические методы и модели управления в ГПС и РСЧС. М.: Академия ГПС МЧС России. 2011. 250 с.
4. *Брушлинский Н. Н., Соколов С. В.* О нормировании времени прибытия пожарных подразделений к месту пожара // Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т. 20. № 9. С. 42-48.
5. *Бутырин О. В., Абаев А. В.* Технология оценивания эффективности функционирования систем обеспечения пожарной безопасности промышленных предприятий. Иркутск: ИрГУПС. 2010. 132 с.
6. *Вилисов В. Я.* Адаптивный выбор управленческих решений. Модели исследования операций как средство хранения знаний ЛПР. Саарбрюкен (Германия): LAP LAMBERT Academic Publishing. 2011. 376 с.
7. *Лукашин Ю. П.* Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. М.: Финансы и статистика. 2003. 416 с.
8. *Повзик Я. С.* Пожарная тактика. М.: ЗАО "СПЕЦТЕХНИКА". 2004. 416 с.
9. Пожары и пожарная безопасность в 2016 г.: Статистический сборник. М.: ВНИИПО МЧС России, 2017. 124 с.
10. *Росин М. Ф., Булыгин В. С.* Статистическая динамика и теория эффективности систем управления. М.: Машиностроение. 1981. 312 с.
11. *Себер Дж.* Линейный регрессионный анализ. М.: Мир. 1980. 456 с.
12. *Семиков В. Л.* Комплексные исследования проблем безопасности // Технологии техносферной безопасности. 2016. Вып. 5 (69). С. 192-197. <http://academygps.ru/ttb>.
13. *Rémi Stroh, Julien Bect, Séverine Demeyer, Nicolas Fischer, Emmanuel Vazquez.* Gaussian process modeling for stochastic multi-fidelity simulators, with application to fire safety. 2016. 6 с. <https://arxiv.org/abs/1605.02561>.

Материал поступил в редакцию 1 марта 2019 г.

Для цитирования: Вилисов В. Я., Семиков В. Л., Алексеев С. П. Система моделей для анализа эффективности реагирования подразделений противопожарной службы // Технологии техносферной безопасности. – Вып. 3 (85). – 2019. – С. 65-76. DOI: 10.25257/TTS.2019.3.85.65-76.

V. Ya. Vilisov, V. L. Semikov, S. P. Alexeev
SYSTEM OF MODELS FOR ANALYZING
THE RESPONSE EFFICIENCY OF FIRE DEPARTMENTS

The article proposes a set of models and approaches to the analysis of fire prevention measures and obtaining estimates of the effectiveness of the fire service units (FSU) activities. The models include linear and nonlinear regression models based on existing statistical data, as well as models reflecting the laws of the distribution of parameters or indicators of FSU functioning quality. The time of arrival of the first sub-division for fire was considered as the key parameter affecting the performance indicators. Output indicators include direct material damage, the number of deaths and the number of people affected by fires.

The article proposes a set of measures aimed at reducing the time of the first fire department's arrival. Using the constructed regression models and the forecast of the number of fires in Russia by the end of 2018, an estimation of reducing the number of deaths due to fires, if the proposed measures are implemented has been made.

Key words: response time, analytical model, statistical data, approximation, gamma distribution, estimation.

Reference

1. Alexeev S. P. To reduce the average time of arrival of the first fire units on the fire in rural areas. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, vol. 5 (63), 2015, pp. 243-249. Available at: <http://academygps.ru/ttb> (in Russian).
2. Borovkov A. A. *Matematicheskaya statistika* [Mathematical statistics]. Moscow, Nauka Publ., 1984, 472 p.
3. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V. *Matematicheskiye metody i modeli upravleniya v GPS i RSChS* [Mathematical methods and control models in GPS and RSChS]. Moscow, Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia Publ., 2011, 250 p.
4. Brushlinskiy N.N., Sokolov S.V. About regulations of response time of fire services. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 42-48 (in Russian).
5. Butyrin O. V., Abayev A. V. *Tekhnologiya otsenivaniya effektivnosti funktsionirovaniya sistem obespecheniya pozharnoy bezopasnosti promyshlennykh predpriyatiy* [Technology for evaluating the effectiveness of the functioning of fire safety systems of industrial enterprises]. Irkutsk, Irkutsk State Transport University Publ., 2010, 132 p.
6. Vilisov V. Ya. *Adaptivnyy vybor upravlencheskikh resheniy. Modeli issledovaniya operatsiy kak sredstvo khraneniya znaniy LPR* [Adaptive selection of management decisions. Operational research models as a means of storing knowledge of decision makers], Saarbrücken (Germany), LAP LAMBERT Academic Publ., 2011, 376 p.
7. Lukashin Yu. P. *Adaptivnye metody kratkosrochnogo prognozirovaniya vremennykh ryadov* [Adaptive methods for short-term time series forecasting]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2003, 416 p.
8. Povzik Ya. S. *Pozharnaya taktika* [Fire tactics]. Moscow, ZAO "SPETsTEKhNIKA" Publ., 2004, 416 p.
9. *Pozhary i pozharnaya bezopasnost v 2010 g.: Statisticheskiy sbornik* [Fires and fire safety in 2010: Statistical Digest]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of EMERCOM of Russia Publ., 2011, 40 p.
10. Rosin M. F., Bulygin V. S. *Statisticheskaya dinamika i teoriya ehffektivnosti sistem upravleniya* [Statistical dynamics and theory of the effectiveness of control systems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1981, 312 p.
11. Seber Dzh. *Linejnyj regressionnyj analiz* [Linear regression analysis]. Moscow, Mir Publ., 1980, 456 p.
12. Semikov V. L. To reduce the average time of arrival of the first fire units on the fire in rural areas. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, vol. 5 (69), 2016, pp. 192-197. Available at: <http://academygps.ru/ttb> (in Russian).
13. Rémi Stroh, Julien Bect, Séverine Demeyer, Nicolas Fischer, Emmanuel Vazquez. Gaussian process modeling for stochastic multi-fidelity simulators, with application to fire safety. 2016. 6 p. Available at: <https://arxiv.org/abs/1605.02561>.

For citation: Vilisov V. Ya., Semikov V. L., Alexeev S. P. System of models for analyzing the response efficiency of fire departments. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, vol. 3 (85), 2019, pp. 65-76 (in Russian). DOI: 10.25257/TTS.2019.3.85.65-76.