

## Оценка потенциала повышения эффективности реагирования пожарных подразделений за счет контроля их готовности

*Н.Г. Топольский<sup>1</sup>, В.Я. Вилисов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва,*

<sup>2</sup>*Технологический университет, Королев*

**Аннотация:** Предложен метод косвенного оценивания эффективности применения внутренних и внешних проверок готовности подразделений Государственной противопожарной службы к выполнению задач реагирования на вызовы. Потенциал повышения эффективности оценивается по снижению различных видов ущерба за счет улучшения показателей реагирования. Исходными данными для оценивания являются статистические данные временных характеристик реагирования пожарных подразделений на вызовы, которые аппроксимируются гамма-распределением. При оценивании учитываются регрессионные зависимости ущерба от показателей реагирования.

**Ключевые слова:** контроль, ущерб, время реагирования, гамма-распределение, квантиль, потенциал повышения эффективности.

### Введение

Вопросы контроля готовности всех подразделений Государственной противопожарной службы (ГПС) к выполнению задач ликвидации чрезвычайных ситуаций закреплены как в ряде нормативных правовых актов РФ, так и отмечены руководителями различных уровней. В частности, Собянин С.С. говорит [1] о необходимости внедрения риск-ориентированного подхода [2] и процедур внутреннего контроля [3] состояния оборудования в период между инспекционными проверками.

В ряде работ приведены постановки задач: оценивания качества и эффективности работы пожарно-спасательной части (ПСЧ) [4]; распределения ресурсов и размещения объектов при чрезвычайных ситуациях [5, 6]; моделирования вариантов защиты при кибератаках [7, 8], направленные на снижение различного рода рисков.

Методы снижения риска за счет проверок направлены на улучшение временных показателей реагирования пожарных подразделений, а также на повышение достоверности информации о состоянии сил и средств.

Для обоснованного формирования управленческих решений, оценки повышения эффективности ГПС за счет фактора проверок желательно иметь в конечных показателях ущерба, например, в процентах уменьшения прямого материального ущерба  $u_d$  (с учетом дефлятора), количества погибших  $R_2$  и травмированных  $Q_2$  людей. Инструменты проверок имеют две большие составляющие: внешние проверки (проводятся вышестоящими или вневедомственными организациями) и внутренние проверки (проводятся службами внутреннего контроля).

Важную роль в обеспечении нормативных значений временных характеристик реагирования подразделений играют обучение и тренировки личного состава. В математической теории обучения/забывания существуют модели, отражающие текущий уровень степени обученности персонала. Уровень сохраненных знаний и навыков, как показано в ряде исследований, в периоды между сеансами обучения, убывает экспоненциально или в соответствии с другими монотонно убывающими функциями. Из этого следует, что при больших перерывах в тренировках и/или обучении навыки реагирования у личного состава могут снижаться, что приводит к ухудшению временных показателей реагирования и, соответственно, к росту показателей ущерба.

Проверки, в большей степени внешние, являются стимулирующим фактором для руководителей подразделений поддерживать показатели реагирования личного состава на должном уровне, в частности, путем тренировок и обучения. Различные варианты проверок и контроля могут довести эффективность реагирования отстающих подразделений до передового уровня. В этом и заключается потенциал повышения эффективности реагирования пожарных подразделений. Далее приведена технология оценивания этого потенциала.

---

## Статистический анализ

Для анализа использованы данные по городам регионов за 2016 год, опубликованные в статистических сборниках [9]. По основным временным показателям реагирования ( $\tau_{\text{сообщ}}$ ,  $\tau_{\text{приб}}$ ,  $\tau_{1 \text{ ств}}$ ,  $\tau_{\text{лок}}$ ,  $\tau_{\text{лик.откр}}$ ,  $\tau_{\text{лик.посл}}$  - соответственно времени: сообщения о пожаре, прибытия первого пожарного подразделения, подачи первого ствола, локализации пожара, ликвидации открытого горения, ликвидации последствий) построены гистограммы распределений (плотности относительных частот). Выполнена их аппроксимация гамма-распределением с помощью метода наименьших квадратов (МНК) [10] с использованием надстройки «Поиск решений» и встроенных функций ГАММА.РАСП(), ГАММА.ОБР() *MS Excel*:

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

где  $\Gamma(\alpha)$  – гамма-функция Эйлера;  $\alpha$  – параметр формы;  $\beta$  – параметр масштаба;  $\tau$  - переменная - время реагирования. Параметры аппроксимации показателей реагирования приведены в табл. 1, а графики - на рис. 1.

Таблица №1

Параметры аппроксимации временных показателей реагирования

$\tau$ , МИН	$\alpha$	$\beta$	Сред- нее знач.	СКО	Квантили $\gamma$ -распределения							
					0.01	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.95
$\tau_{\text{сообщ}}$	9.15	0.14	1.29	0.43	<b>0.51</b>	<b>0.68</b>	<b>0.78</b>	<b>0.92</b>	<b>1.03</b>	<b>1.14</b>	<b>1.24</b>	<b>2.06</b>
$\tau_{\text{приб}}$	39.53	0.15	5.77	0.92	<b>3.85</b>	<b>4.35</b>	<b>4.63</b>	<b>4.99</b>	<b>5.26</b>	<b>5.49</b>	<b>5.72</b>	<b>7.36</b>
$\tau_{1 \text{ ств}}$	84.31	0.01	1.09	0.12	<b>0.83</b>	<b>0.90</b>	<b>0.94</b>	<b>0.99</b>	<b>1.02</b>	<b>1.06</b>	<b>1.09</b>	<b>1.29</b>
$\tau_{\text{лок}}$	7.72	0.68	5.27	1.90	<b>1.87</b>	<b>2.58</b>	<b>3.03</b>	<b>3.65</b>	<b>4.14</b>	<b>4.59</b>	<b>5.05</b>	<b>8.73</b>
$\tau_{\text{лик.откр}}$	8.35	0.69	5.72	1.98	<b>2.13</b>	<b>2.90</b>	<b>3.38</b>	<b>4.03</b>	<b>4.54</b>	<b>5.02</b>	<b>5.50</b>	<b>9.32</b>
$\tau_{\text{лик.посл}}$	2.94	7.46	21.93	12.79	<b>3.10</b>	<b>5.87</b>	<b>7.95</b>	<b>11.12</b>	<b>13.90</b>	<b>16.63</b>	<b>19.50</b>	<b>46.28</b>

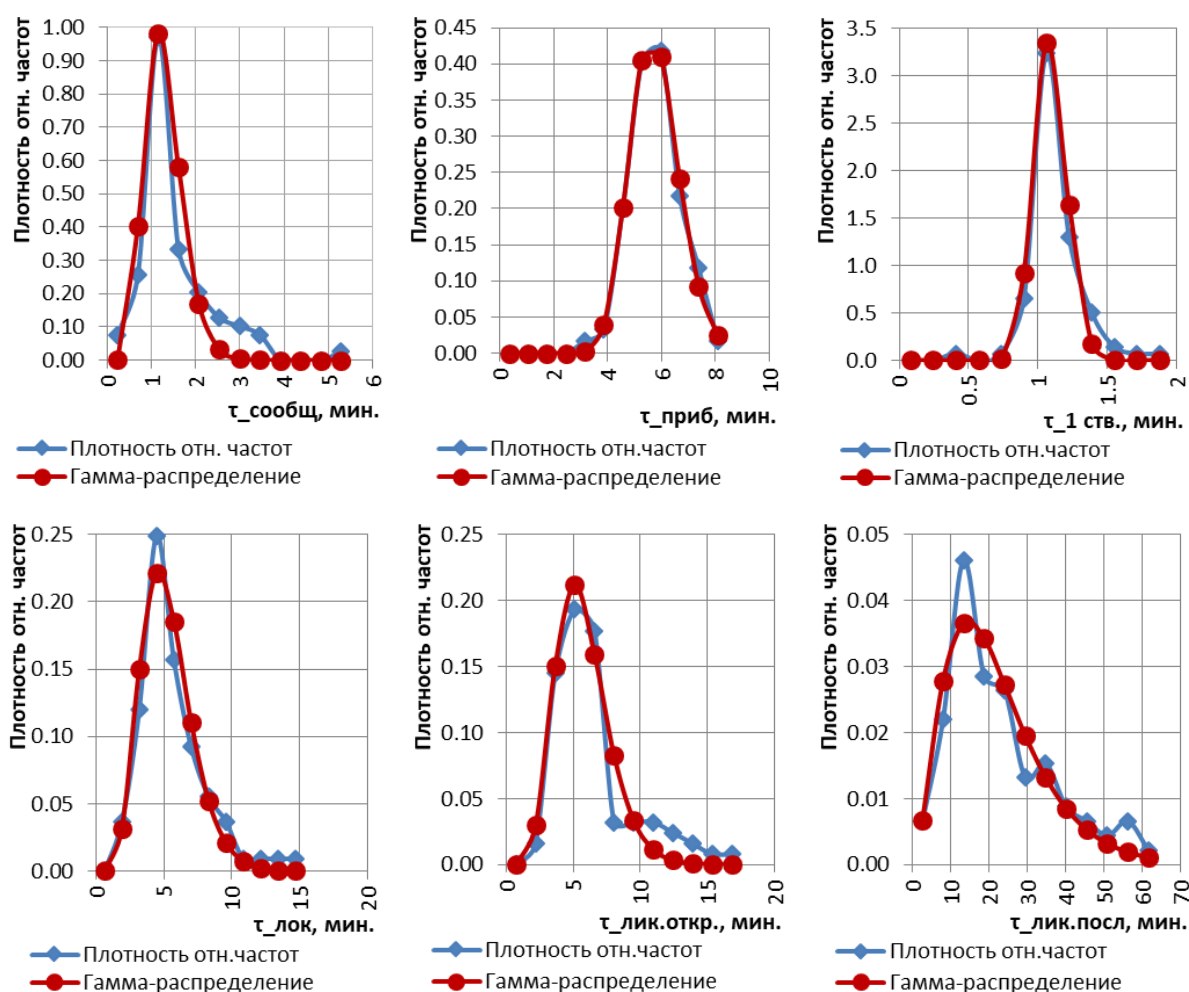


Рис. 1. Аппроксимация временных показателей реагирования гамма-распределением

В табл. 1 приведены параметры  $\alpha, \beta$ , обеспечивающие точность приближения статистических данных с погрешностью, не превышающей 1%. Там же приведены средние значения и среднеквадратические отклонения (СКО) гамма-распределений, а также, для ряда уровней интегральной функции  $\gamma$ -распределения, соответствующие им квантили каждого из распределений (меньшим значениям  $\gamma$  соответствуют меньшие значения времени реагирования).

Значения времени реагирования отражают, насколько быстро пожарные подразделения реагируют на вызовы. Можно предположить, что время реагирования определяется уровнем подготовленности (обученности)

личного состава, состоянием техники и инфраструктуры. А значит, одни регионы обеспечивают очень быстрое реагирование, а в других - временные характеристики ниже средних.

В терминах параметров распределений, приведенных на рис. 1, можно говорить, что *проведение проверок и внутреннего контроля может способствовать улучшению показателей реагирования подразделений отстающих регионов до уровня показателей наиболее передовых.* Конкретные значения временных характеристик, соответствующих различным уровням эффективности реагирования регионов, можно поставить в соответствие уровню  $\gamma$  квантиля распределения. Так уровню  $\gamma=0,01$  соответствуют близкие к оптимальным значения времени реагирования, значению  $\gamma=0,05$  - менее эффективные и т.п. Значения  $\gamma$  - квантилей (*шесть соответствующих показателей времени реагирования  $\tau_i$* ) для сетки значений параметра  $\gamma$  приведены в табл. 1 (выделены жирным шрифтом).

Значения показателей ущерба, приведенные в статистических сборниках [9], соответствуют средним значениям временных характеристик. Поэтому мероприятия по проверке готовности подразделений и связанная с этим дополнительная подготовка личного состава может повысить показатели времени реагирования от нынешних средних до показателей передовых регионов, обеспечивающих малые значения времени реагирования, соответствующие уровням квантилей  $\gamma \in [0,01; 0,5]$ .

### **Оценивание потенциала повышения эффективности**

Имея аппроксимации гамма-распределениями статистических данных о *времени реагирования* подразделений пожарной охраны для различных регионов, а также принимая во внимание регрессионные зависимости между ними и *показателями ущерба*, можно оценить, насколько снизится ущерб,

---

если во всех регионах (за счет проверок и контроля) показатели реагирования улучшатся до уровня передовых регионов. Очевидно, чем меньше значение  $\gamma$ , тем более передовым, по времени реагирования является регион.

По данным статистических сборников [9] построены модели парной регрессии, имеющие следующий общий вид для городов в 2016 году:

$$u_d(\tau_i) = a_0 + a_1 \tau_i, \quad (2)$$

$$R_2(\tau_i) = b_0 + b_1 \tau_i, \quad (3)$$

$$Q_2(\tau_i) = c_0 + c_1 \tau_i, \quad (4)$$

где:  $\tau_i$  -  $i$ -й показатель, отражающий время реагирования подразделений ( $\tau_{\text{сообщ}}$ ,  $\tau_{\text{приб}}$ ,  $\tau_{1 \text{ ств}}$ ,  $\tau_{\text{лок}}$ ,  $\tau_{\text{лик.откр}}$ ,  $\tau_{\text{лик.посл}}$ );  $a_j, b_j, c_j$  -  $j$ -й коэффициент уравнения парной регрессии,  $j \in \{0; 1\}$ .

Значения коэффициентов регрессии для трех показателей ущерба приведены в табл. 2.

Таблица №2

## Коэффициенты парной регрессии

Показатели ущерба	$a_0$	$a_1$	Показатели ущерба	$b_0$	$b_1$	Показатели ущерба	$c_0$	$c_1$
$u_d(\tau_{\text{сообщ}})$	41,67	61,30	$R_2(\tau_{\text{сообщ}})$	3,73	0,90	$Q_2(\tau_{\text{сообщ}})$	7,85	0,19
$u_d(\tau_{\text{приб}})$	-425,19	93,12	$R_2(\tau_{\text{приб}})$	-3,99	1,51	$Q_2(\tau_{\text{приб}})$	6,16	0,33
$u_d(\tau_{1 \text{ ств}})$	-140,22	248,47	$R_2(\tau_{1 \text{ ств}})$	0,76	3,90	$Q_2(\tau_{1 \text{ ств}})$	7,33	0,74
$u_d(\tau_{\text{лок}})$	36,61	17,13	$R_2(\tau_{\text{лок}})$	3,66	0,25	$Q_2(\tau_{\text{лок}})$	7,80	0,06
$u_d(\tau_{\text{лик.откр}})$	-1,86	21,22	$R_2(\tau_{\text{лик.откр}})$	3,22	0,29	$Q_2(\tau_{\text{лик.откр}})$	7,68	0,07
$u_d(\tau_{\text{лик.посл}})$	454,62	-13,52	$R_2(\tau_{\text{лик.посл}})$	10,28	-0,22	$Q_2(\tau_{\text{лик.посл}})$	9,15	-0,04

Как видно в табл. 2, показатели наклона ( $a_1, b_1, c_1$ ) у всех моделей, кроме зависящих от времени  $\tau_{\text{лик.посл}}$ , положительны (т.е. при уменьшении времени реагирования снижается и ущерб). А для  $\tau_{\text{лик.посл}}$  при уменьшении

его значения ущерб возрастает. Причем эта тенденция имеет место не только для *города*, но сохраняется (как показали исследования) и для других групп данных (*село* и *все*). Этот эффект можно интерпретировать так, что по показателю  $\tau_{лик.посл}$  наилучшим регионам соответствуют не меньшие значения квантилей гамма-распределений, а большие (0,99; 0,95; и т.д.). Поэтому для оценивания ущерба были использованы только первые пять (из шести, т.е. кроме  $\tau_{лик.посл}$ ) группы уравнений регрессии, связывающие показатели  $u_d, R_2, Q_2$  с показателями времени реагирования  $\tau_{сообщ}$ ,  $\tau_{приб}$ ,  $\tau_{1 ств}$ ,  $\tau_{лок}$ ,  $\tau_{лик.откр}$ .

Таким образом, для построения оценки потенциала каждого из показателей  $u_d, R_2, Q_2$  имеется пять уравнений регрессии. Для уменьшения методической погрешности вычислены значения показателя ущерба по всем пяти группам уравнений, а затем определены средние значения оценок.

Результаты вычисления *процентов снижения показателей ущерба относительно средних значений гамма-распределений* при различных уровнях  $\gamma$  квантилей приведены в табл. 3.

Таблица №3

Оценки показателей ущерба

Уровень $\gamma$	0,01	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	Средние значения гамма-распред.
$u_d$ среднее	37,00	57,45	69,46	85,10	97,15	107,97	118,53	121,96
$u_d$ , % улучшения	<b>69,66</b>	<b>52,89</b>	<b>43,04</b>	<b>30,22</b>	<b>20,34</b>	<b>11,47</b>	<b>2,81</b>	0
$R_2$ среднее	3,60	3,91	4,10	4,34	4,52	4,69	4,85	4,90
$R_2$ , % улучшения	<b>26,54</b>	<b>20,12</b>	<b>16,35</b>	<b>11,46</b>	<b>7,70</b>	<b>4,33</b>	<b>1,04</b>	0
$Q_2$ среднее	7,81	7,88	7,92	7,97	8,01	8,05	8,09	8,10
$Q_2$ , % улучшения	<b>3,53</b>	<b>2,68</b>	<b>2,18</b>	<b>1,53</b>	<b>1,03</b>	<b>0,58</b>	<b>0,14</b>	0



## Выводы

Потенциал повышения эффективности реагирования за счет снижения видов ущерба *относительно средних значений* (по данным 2016 г.) в городах составляет, соответственно:

- для прямого материального ущерба ( $u_d$ ) на величину около 70% (на 85 тыс. руб. на один пожар);
- для количества погибших людей ( $R_2$ ) - около 27% (на 1,3 человек на 100 пожаров);
- для количества травмированных ( $Q_2$ ) - около 4% (на 0,3 человек на 100 пожаров).

Этот потенциал может быть реализован за счет повышения готовности, в том числе квалификации, отстающих регионов. Стимулирующим фактором для этого может служить оптимальная организация и проведение внутреннего контроля и внешних проверок готовности подразделений, направленных на снижение риска неготовности при выполнении задач пожаротушения.

## Литература

1. Собянин С.С. Московское правительство о пожарной безопасности в столице в 2018–2019 гг. // Каталог «Пожарная безопасность», 2019. URL: [lib.secuteck.ru/articles2/firesec/moskovskoe-pravitelstvo-o-pozharnoy-bezopasnosti-v-stolitse-v](http://lib.secuteck.ru/articles2/firesec/moskovskoe-pravitelstvo-o-pozharnoy-bezopasnosti-v-stolitse-v).
2. Vilisov V.Ya. Modelling the Risk Degree when Managing Emergency Situation Liquidation // Proceedings of the 2018 Eleventh International Conference "Management of Large-Scale System Development" (MLSD). IEEE, 2018. С. 1-5 URL: [ieeexplore.ieee.org/document/8551903](http://ieeexplore.ieee.org/document/8551903).
3. Вилисов В.Я., Суков И.Е. Инструменты внутреннего контроля. М.: ИНФРА-М, 2016. 262 с.



4. Брушлинский Н.Н., Шебеко Ю.Н. Пожарные риски: динамика, управление, прогнозирование. М.: ВНИИПО, 2007. 370 с.
5. Fertier A., Barthe-Delanoë A.-M., Montarnal A. etc. A new emergency decision support system: the automatic interpretation and contextualisation of events to model a crisis situation in real-time // Decision Support Systems, 2020, Vol.133. URL: [sciencedirect.com/science/article/pii/S0167923620300154](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167923620300154).
6. Cavdur F., Sebatli A. A decision support tool for allocating temporary-disaster-response facilities // Decision Support Systems, 2019, Vol.127 URL: [sciencedirect.com/science/article/pii/S0167923619301745](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167923619301745).
7. Paul J.A., Zhang M. Decision support model for cybersecurity risk planning: A two-stage stochastic programming framework featuring firms, government, and attacker // European Journal of Operational Research, 2021, Vol.291, Iss.1. pp. 349-364 URL: [sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221720307992](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221720307992).
8. Петрова О.В., Королев И.Д., Крюков Д.М. и др. Способ оценки защищенности автоматизированной информационной системы специального назначения от DDoS-атак на основе теоретико-эмпирического подхода // Инженерный вестник Дона, 2021, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2021/6779](https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2021/6779).
9. Пожары и пожарная безопасность в 2016 г. // Статистический сборник. М: ФГУ ВНИИПО, 2017. 124 с.
10. Кравченко Е.В. Решение проблемы недостоверности получаемых данных в процессе управления технологическим объектом промышленного предприятия // Инженерный вестник Дона, 2020, №12. URL: [vdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6750](https://vdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6750).

### References

1. Sobyenin S.S. Katalog "Pozharnaya bezopasnost", 2019. URL: [lib.secuteck.ru/articles2/firesec/moskovskoe-pravitelstvo-o-pozharnoy-bezopasnosti-v-stolitse-v](https://lib.secuteck.ru/articles2/firesec/moskovskoe-pravitelstvo-o-pozharnoy-bezopasnosti-v-stolitse-v).



2. Vilisov V.Ya. Proceedings of the 2018 Eleventh International Conference "Management of Large-Scale System Development" (MLSD). IEEE, 2018 URL: [ieeexplore.ieee.org/document/8551903](http://ieeexplore.ieee.org/document/8551903).
3. Vilisov V.YA., Sukov I.E. Instrumenty vnutrennego kontrolya [Internal control instruments]. M.: INFRA-M, 2016. 262 p.
4. Brushlinskij N.N., Shebeko YU.N. Pozharnye riski: dinamika, upravlenie, prognozirovanie [Fire risks: dynamics, management, forecasting]. M.: VNIPO, 2007. 370 p.
5. Fertier A., Barthe-Delanoë A.-M., Montarnal A. etc. Decision Support Systems, 2020, Vol.133. URL: [sciencedirect.com/science/article/pii/S0167923620300154](http://sciencedirect.com/science/article/pii/S0167923620300154).
6. Cavdur F., Sebatli A. Decision Support Systems, 2019, Vol.127. URL: [sciencedirect.com/science/article/pii/S0167923619301745](http://sciencedirect.com/science/article/pii/S0167923619301745).
7. Paul J.A., Zhang M. European Journal of Operational Research, 2021, Vol.291, Iss.1. pp. 349-364 URL: [sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221720307992](http://sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221720307992).
8. Petrova O.V., Korolev I.D., Kryukov D.M. i dr. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2021/6779](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2021/6779).
9. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2016 g. [Fires and fire safety in 2016] Statisticheskij sbornik. M: FGU VNIPO, 2017. 124 p.
10. Kravchenko E.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №12. URL: [vdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6750](http://vdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6750).