

А. В. Маслов, А. В. Суровегин, Д. В. Тараканов, М. О. Баканов
(Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России;
e-mail: den-pgsm@mail.ru)

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЁЖНОСТИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СТРУКТУРЕ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫМИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ НА КРУПНЫХ ПОЖАРАХ

РЕЗЮМЕ

Введение. Специфика тушения пожаров в зданиях и на открытых пространствах на территории Российской Федерации определяет, что пожар, принявший масштабы, позволяющие отнести его к крупному, тушится с привлечением сил и средств нескольких пожарно-спасательных подразделений. В этом случае для улучшения качества управления большим количеством пожарно-спасательных подразделений различной подчинённости создают развитую структуру системы управления.

Цели и задачи. Целью исследования является анализ структуры системы управления, создаваемой при тушении крупных пожаров, требующих привлечения значительного количества пожарно-спасательных подразделений. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи: 1) выявить зависимость динамики надёжности принятия решений от опыта оперативной работы должностных лиц пожарно-спасательного гарнизона, выполняющих обязанности руководителя тушения пожара; 2) определить этап накопления опыта оперативной работы, на котором потенциальным руководителям тушения пожара информационная, методическая и аналитическая поддержка принесёт максимальный эффект.

Методы. Для построения зависимости опыта работы и вероятности ошибки при руководстве силами и средствами на пожарах использовалась модель обучения Хала.

Результаты и их обсуждение. Увеличение скорости роста надёжности принятия решений у потенциального руководителя тушения пожара наблюдается на интервале оперативной работы от 0 до 4-х лет, после этого скорость роста снижается.

Выводы. В характеристической зависимости надёжности принятия решений от опыта оперативной работы должностного лица, выполняющего обязанности руководителя тушения пожара, на этапе экспоненциального роста происходит максимальное влияние положительного изменения опыта оперативной работы на увеличение значений надёжности принятия решений.

Ключевые слова: тушение пожара, структура управления, надёжность принятия решений.

Для цитирования: Маслов А. В., Суровегин А. В., Тараканов Д. В., Баканов М. О. Моделирование надёжности принятия решений в структуре управления пожарно-спасательными подразделениями на крупных пожарах // Технологии техносферной безопасности. – 2020. – Вып. 3 (89). – С. 43-52. DOI: 10.25257/TTS.2020.3.89.43-52.

Руководителем тушения пожара при тушении крупных пожаров в системе управления привлекаются должностные лица службы пожаротушения как органа управления пожарными подразделениями гарнизонного уровня. В особых случаях, затяжных пожаров, когда требуется осуществлять взаимодействие между гарнизонами пожарной охраны, руководство тушением пожаров осуществляет непосредственно руководитель территориального пожарно-спасательного гарнизона с учётом стоимостных характеристик прогнозируемого ущерба от пожара [2, 3]. Общий вид структуры системы управления на крупном пожаре представлен на рис. 1.



Рис. 1. Структура системы управления на крупном пожаре

Качество управления в развитой структуре зависит от надёжности принятия решений должностными лицами пожарно-спасательных подразделений. Важным аспектом моделирования надёжности принятия решений также является учёт опыта оперативной работы. Стоит отметить, что с формальных позиций назначение должных лиц на нештатные должности в системе управления на пожаре производится с учётом их опыта тушения крупных пожаров и способности принимать решения в сложной динамично меняющейся обстановке. Поэтому при моделировании структуры системы управления необходимо иметь инструмент, позволяющий оценить вероятность принятия верных управленческих решений – надёжность принятия решений. Одной из отдельных перспектив данного исследования является идентификация этапов накопления опыта оперативной работы, на которых должностными лицами – потенциальным руководителям тушения пожара, требуется методическая, информационная и аналитическая поддержка процедур принятия решений.

Карьерный рост по штатным должностям в системе управления пожарно-спасательными гарнизонами должен осуществляться по мере накопления опыта в области решения задач управления оперативными подразделениями пожарной охраны. Так в соответствии с правилами, носящими рекомендательный характер, для назначения на должность в службу пожаротушения сотрудник должен иметь опыт оперативной работы не менее 5 лет, а на должность руководителя гарнизона (начальника службы пожаротушения) не менее 10 лет. Этого говорит о том, что передача руководства тушением крупным пожаром осуществляется от менее опытного оперативного сотрудника пожарной охраны к более опытному. В научных работах [4] приводятся данные о вероятности совершения ошибки при руководстве силами и средствами на пожарах, которые однозначно показывают, что увеличение опыта оперативной работы должностных лиц определяет снижение вероятности принятия неверных решений на пожаре. Однако, аналитического алгоритма по количественной интерпретации данной качественной значимости представлено не было. По аналогии с исследованиями [5] выдвинем *теоретическую гипотезу*, состоящую в том, что моделирование надёжности принятия решений в структуре системы управления на крупном пожаре возможно по модели экспоненциального роста с насыщением, в практике моделирования накопления опыта именуемой модифицированной моделью Хала. Для построения зависимости опыта работы и вероятности совершить ошибку воспользуемся моделью обучения Хала (С. Hull) [6, 7].

Модель Хала является теоретическим обобщением эмпирической модели обучения, представляющей изменение силы навыка от количества подкреплений навыка пропорционально скорости обучения в виде дифференциального уравнения:

$$\frac{dY}{dX} = k(\bar{Y} - Y), \quad (1)$$

где Y – сила навыка (функция);

$\bar{Y}$ – физиологический максимум силы навыка;

k – скорость обучения;

X – количество подкреплений (аргумент).

Для решения уравнения (1) принято, что начальное условие $Y(X=0)=Y_0$ и скорость обучения является функцией от опыта оперативной работы:

$$k = aX^{n-1}, \quad n = 2, 3, \quad (2)$$

Аналитическое решение уравнения (1) при заданных допущениях выглядит следующим образом:

$$Y = \bar{Y} + (Y_0 - \bar{Y}) \exp(-aX^n), \quad (3)$$

Аналитическое решение (3) можно считать экспоненциальной динамической моделью с насыщением. Анализ данной модели позволяет рассматривать два основных этапа динамики значений прогнозируемого силы навыка Y :

1 – этап роста, когда надёжность принимаемых решений изменяется от опыта, по экспоненциальному закону;

2 – этап насыщения, определяет ситуацию, когда существенных изменений надёжности принятия решений от опыта не наблюдается.

Для идентификации этапов необходимо определить координаты точки X^* и $Y(X^*)$. При этом смена этапов в модели Хала наблюдается в том случае, когда вторая производная функции (3) будет равна нулю. Вторая производная функции (3) записывается следующим образом:

$$Y'' = -na(Y_0 - \bar{Y})(1 - naX^n) \exp(-aX^n), \quad (4)$$

Отсюда следует, что значение аргумента X^* для случая $Y'' = 0$ равно:

$$X^* = \frac{1}{(na)^{1/n}}, \quad (5)$$

Для доказательства выдвинутой теоретической гипотезы исследования применим данную модель к описанию процесса снижения количества ошибок в руководстве тушения пожара в зависимости от опыта оперативной работы должностных лиц штатной структуры управления пожарно-спасательными подразделениями.

Моделирование надёжности принятия решений

Введём следующие обозначения:

X – опыт оперативной работы, измеряемый годами. Теоретически значение опыта оперативной работы может принадлежать интервалу от 0 до $+\infty$, но на практике верхняя граница данного интервала в большинстве случаев не превышает 20 лет.

Y – надёжность принятия решений, эмпирическое значение которой, определяется по формуле:

$$Y = \frac{N - N_{\text{ош}}}{N}, \quad (6)$$

где N – количество случаев руководства тушением пожара;

$N_{\text{ош}}$ – количество случаев руководства тушением пожара с присутствием ошибки.

Тогда $\bar{Y} = 1$ теоретическое значение надёжности принятия решений при тушении пожаров, (максимальный уровень надёжности) предусматривает отсутствие ошибок руководителя тушения пожара вовсе – $N_{\text{ош}} = 0$. В свою очередь, исходя из модели (3), очевидно, что данное значение $\bar{Y} = 1$ недостижимо. Так как $\lim_{k \rightarrow \infty} \exp(k) = 0$, здесь $k = aX^{n-1}$ и $k \rightarrow -\infty$, тогда и только тогда, когда $n \geq 2$, а $X \rightarrow \infty$ в свою очередь является теоретическим допущением модели, но с другой стороны опыт оперативной работы ограничен, то есть $X \neq \infty$. Поэтому предполагаем, что максимальное значение не превышает теоретическое $Y_{\text{max}} < \bar{Y}$, но стремится к нему.

Пусть Y_0 – начальное значение надёжности принятия решений руководителем тушения пожара. Предполагаем, что $Y_0 \neq 0$, то есть должностное лицо, допущенное к руководству тушением пожара, имеет начальное значение надёжности принятия решений отличное от нуля. По эмпирическим данным, опубликованным в [4], начальник караула (допустимый опыт оперативной работы до 5 ти лет) имеет надёжность принятия решений $Y = 0,7$; должностное

лицо службы пожаротушения (допустимый опыт работы от 5 ти до 10 лет) $Y = 0,86$; должностное лицо – начальник гарнизона пожарной охраны (начальник службы пожаротушения) (допустимый опыт оперативной работы свыше 10 лет) $Y = 0,98$. Аппроксимация эмпирических данных с использованием модифицированной модели Хала представлена на рис. 2.

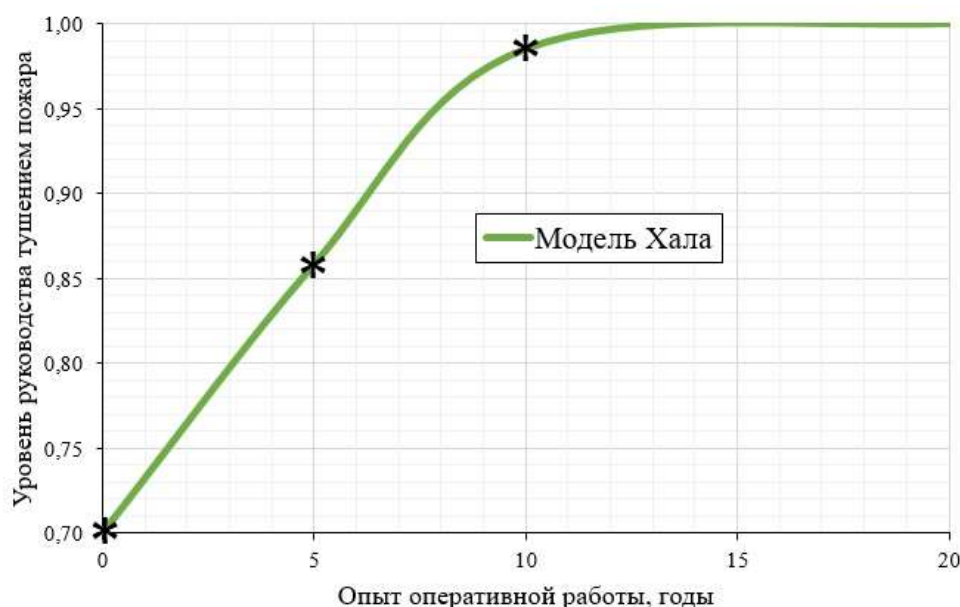


Рис. 2. Сопоставление эмпирических и аналитических данных

На рис. 2 знаком "*" обозначены эмпирические данные. В результате аппроксимации эмпирических данных получены следующие константы модели: $\bar{Y} = 1$, $Y_0 = 0,7$, $a = 0,03$, $n = 2$. Таким образом, *теоретическая гипотеза*, состоящую в том, что моделирование надёжности принятия решений в структуре системы управления на крупном пожаре возможно по модели экспоненциального роста с насыщением доказана. На практике моделирования структуры системы управления этого говорит о том, что скорость обучения k является линейной функцией от опыта оперативной работы $k = aX$. Тогда характеристическая зависимость динамики надёжности принятия решений от опыта оперативной работы должностных лиц пожарно-спасательного гарнизона, выполняющих обязанности руководителя тушения пожара будет записана следующим образом:

$$Y = 1 + (0,7 - 1)\exp(-0,03X^2).$$

В свою очередь, точка смены этапов модели имеет координаты
- абсцисса

$$X^* = \frac{1}{(na)^{1/n}} = \frac{1}{(2 \cdot 0,03)^{1/2}} = 4,$$

- ордината

$$Y^* = \bar{Y} + (Y_0 - \bar{Y})\exp(-n^{-1}) = 1 + (0,7 - 1)\exp(-0,5) = 0,82.$$

Анализируя полученные данные, очевидно, что увеличение скорости роста надёжности принятия решений у потенциального руководителя тушения пожара наблюдается на интервале оперативной работы от 0 до 4-х лет, после этого скорость роста снижается. Динамика значений скорости роста уровня руководства тушением пожара в зависимости от опыта оперативной работы представлена на рис. 3.



Рис. 3. Динамика скорости роста уровня руководства тушением пожара от опыта оперативной работы

Выводы

Анализируя результаты моделирования можно сделать вывод, что в характеристической зависимости надёжности принятия решений от опыта оперативной работы должностного лица, выполняющего обязанности руководителя тушения пожара, на этапе экспоненциального роста происходит максимальное влияние положительного изменения опыта оперативной работы на увеличение значений надёжности принятия решений.

В свою очередь значение уровня руководства $Y^* = 0,82$ говорит о том, что на интервале значений функции Y от 0,7 до 0,82 наблюдается процесс максимального увеличения надёжности принятия решений. Именно на данном этапе должностному лицу, выполняющему обязанности руководителя тушения пожара, необходимо осуществлять информационную, аналитическую и методическую поддержку принятия решений, что будет иметь положительный эффект в структуре системы управления на пожаре.

Литература

1. *Теребнев В. В., Семенов А. О., Тараканов Д. В.* Теоретические основы принятия решений при управлении силами и средствами на пожаре // *Пожаровзрывобезопасность*. 2012. Т. 21. № 10. С. 14-17.
2. *Брушлинский Н. Н.* Пожары в России и в Мире. М.: изд-во "Калан", 2002. 154 с.
3. *Брушлинский Н. Н., Соколов С. В.* Какова "стоимость" пожаров в современном мире? *Пожаровзрывобезопасность*. 2020. Т. 29. № 1. С. 79-88. <https://doi.org/10.18322/PVB.2020.29.01.79-88>
4. *Микеев А. К.* Пожар. Социальные, экономические, экологические проблемы. М.: Пожнаука, 1994 386 с.
5. *Семенов А. О., Баканов М. О., Тараканов Д. В.* Модели мониторинга и управления при ликвидации крупных пожаров: монография. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. 128 с.
6. *Степанов И. И., Ефремов О. М., Суворов Н. Б., Даниловский М. М., Майданов Н. П., Шклярчук С. П.* Информативность математической модели процесса обучения // *Информационно-управляющие системы*. 2011. № 1 (50). С. 34-40.
7. *Hull C. L.* Principles of Behavior. N.Y.:Appleton CenturyCrofts, 1943. 325 p.

Материал поступил в редакцию 6 августа 2020 г.; принят к публикации 29 сентября 2020 г.

A. V. Maslov, A. V. Surovegin, D. V. Tarakanov, M. O. Bakanov
(Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of EMERCOM of Russia;
e-mail: den-pgsm@mail.ru)

MODELING THE RELIABILITY OF DECISION-MAKING IN THE MANAGEMENT STRUCTURE OF FIRE AND RESCUE UNITS IN LARGE FIRES

ABSTRACT

Introduction. The specifics of extinguishing fires in buildings and open spaces on the territory of the Russian Federation determines that a fire that has taken on a scale that allows it to be attributed to a large one is extinguished with the help of the forces and means of several fire and rescue units. In this case, a developed structure of the control system is created in order to improve the quality of management of a large number of fire and rescue units of different subordination.

Goals and objectives. The purpose of the study is to analyze the structure of the control system created at large fires requiring the a significant number of fire and rescue units. To achieve the goal, it is necessary to solve the following tasks: 1) to identify the dependence of the dynamics of reliability of decision making on the experience of the operational work of fire and rescue garrison officials who perform the duties of the fire extinguishing driver.; 2) to determine the stage of accumulation of operational experience at which information, methodological and analytical support will bring maximum effect to potential fire extinguishing managers.

Methods. To build the dependence of work experience and the probability of error when directing forces and means on fires, the Hala training model was used.

Results and its discussion. An increase in the growth rate of decision reliability in a potential fire extinguishing supervisor is observed at the interval of operational work from 0 to 4 years, after which the growth rate decreases.

Conclusions. In the characteristic dependence of the reliability of decision making on the experience of the operational work of the official performing the duties of the fire extinguishing manager, at the stage of exponential growth, the maximum effect of the positive change in the operational work experience on increasing the values of the reliability of decision making occurs.

Key words: fire extinguishing, control structure, decision-making reliability.

For citation: Maslov A. V., Surovegin A. V., Tarakanov D. V., Bakanov M. O. Modeling the reliability of decision-making in the management structure of fire and rescue units in large fires. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, 2020, vol. 3 (89), pp. 43-52 (in Russian). DOI: 10.25257/TTS.2020.3.89.43-52.

References

1. Terebnev V. V., Semenov A. O., Tarakanov D. V. Decision making theoretical basis of management on fire. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 10, pp. 14-17 (in Russian).
2. Brushlinsky H. H. *Pozhary v Rossii i v Mire* [Fires in Russia and in the World]. Moscow, Kalan Publ., 2002, 154 p.
3. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V. How much is the fire "cost" in the modern world? *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2020, vol. 29, no. 1, pp. 79-88 (in Russian). <https://doi.org/10.18322/PVB.2020.29.01.79-88>
4. Mikeyev A. K. *Pozhar. Social'nye, ekonomicheskie, ekologicheskie problemy* [Fire. Social, economic, environmental problems]. Moscow, Pozhnauka Publ., 1994, 386 p.
5. Semenov A. O., Bakanov M. O., Tarakanov D. V. *Modeli monitoringa i upravleniya pri likvidacii krupnyh pozharov* [Models of monitoring and management in the elimination of large fires: monograph]. Ivanovo, Ivanovo Fire and Rescue Academy of EMERCOM of Russia, 2018. 128 p.
6. Stepanov I. I., Efremov O. M., Suvorov N. B., Danilovsky M. M., Maydanov N. P., Schklyaruk S. P. Informative core of the mathematical model of the learning curve. *Informacionno-upravlyayushchie sistemy / Information and control systems*, 2011, no. 1 (50), pp. 34-40 (in Russian).
7. Hull C. L. *Principles of Behavior*. N.Y.:Appleton CenturyCrofts, 1943, 325 p.

Received August 6, 2020; accepted September 29, 2020

Информация об авторах

МАСЛОВ Алексей Владимирович
начальник учебно-научного комплекса
"Пожаротушение"; Ивановская пожар-
но-спасательная академия Государ-
ственной противопожарной службы
МЧС России; Российская Федерация,
153040, г. Иваново, проспект Строи-
телей, 33; ORCID: 0000-0002-2702-1130,
РИНЦ AuthorID: 185919; e-mail:
alex1977maslov@mail.ru

СУРОВЕГИН Антон Вячеславович
начальник научно-исследовательского
отделения учебно-научного комплекса
"Пожаротушение"; Ивановская пожар-
но-спасательная академия Государ-
ственной противопожарной службы
МЧС России; Российская Федерация,
153040, г. Иваново, проспект Строи-
телей, 33; ORCID: 0000-0002-1672-5159,
РИНЦ AuthorID: 700856; e-mail:
sav_37@mail.ru

ТАРАКАНОВ Денис Вячеславович
д-р техн. наук; профессор кафедры по-
жарной тактики и основ аварийно-
спасательных и других неотложных ра-
бот; Ивановская пожарно-спасательная
академия Государственной противопо-
жарной службы МЧС России; Россий-
ская федерация, 153040, г. Иваново,
проспект Строителей, 33; ORCID: 0000-
0002-5811-7397, РИНЦ AuthorID:
587331; e-mail: den-pgsm@mail.ru

БАКАНОВ Максим Олегович
канд. техн. наук, доцент; начальник ка-
федры пожарной тактики и основ ава-
рийно-спасательных и других неотлож-
ных работ; Ивановская пожарно-
спасательная академия Государственной
противопожарной службы МЧС России;
Российская федерация, 153040, г. Ива-
ново, проспект Строителей, 33; ORCID:
0000-0002-5427-8767, РИНЦ AuthorID:
802943; e-mail: mask-13@mail.ru

Information about the authors

MASLOV Alexey Vladimirovich
Head of the Educational and Scientific Com-
plex "Firefighting"; Ivanovo Fire and Rescue
Academy of the State Fire Service of
EMERCOM of Russia; Russian Federation,
153040, Ivanovo, Stroiteley Avenue, 33; OR-
CID ID: ORCID: 0000-0002-2702-1130;
RSCI Author ID: 185919; e-mail:
alex1977maslov@mail.ru

SUROVEGIN Anton Viacheslavovich
Head of the Research Department of the Edu-
cational and Scientific Complex "Fire-
fighting"; Ivanovo Fire and Rescue Academy
of the State Fire Service of EMERCOM of
Russia; Russian Federation, 153040, Ivanovo,
Stroiteley Avenue, 33; ORCID ID: ORCID:
0000-0002-1672-5159, RSCI Author ID:
700856; e-mail: sav_37@mail.ru

TARAKANOV Denis Viacheslavovich
Doctor of Technical Sciences; professor
of Department of Fire Tactics and Founda-
tions of Emergency Rescue and Other Urgent
Operations; Ivanovo Fire and Rescue Aca-
demy of the State Fire Service of EMERCOM
of Russia; Russian Federation, 153040,
Ivanovo, Stroiteley Avenue, 33; ORCID ID:
0000-0002-5811-7397, RSCI Author ID:
587331; e-mail: den-pgsm@mail.ru

BAKANOV Maksim Olegovich
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor; Head of the Department of Fire
Tactics and Fundamentals of Emergency
Rescue and Other Urgent Operations; Iva-
nov Fire and Rescue Academy of the
State Fire Service of EMERCOM of Rus-
sia; Russian Federation, 153040, Ivanovo,
Stroiteley Avenue, 33; ORCID: 0000-
0002-5427-8767, RSCI Author ID:
802943; e-mail: mask-13@mail.ru