

Научная статья  
УДК 004.021  
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.45.94.005

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЗВЕНЬЕВ ГАЗОДЫМОЗАЩИТНОЙ СЛУЖБЫ В РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

*Аслан Такенович Алдабеков*

*Академия гражданской защиты им. М.Габдуллина МЧС Республики МЧС Казахстан, Кокшетау, Казахстан*

*Автор ответственный за переписку: Аслан Такенович Алдабеков, tushila\_010@mail.ru*

**Аннотация.** В статье предоставлена математическая модель определения количество пожаров в сутки с применением газодымозащитной службы (далее - ГДЗС). Автором предложен стохастический подход к моделированию и прогнозированию параметров, что позволяет оптимизировать распределение сил и средств. Это, в свою очередь, способствует снижению ущерба от чрезвычайных ситуаций. Практическая значимость результатов заключается в возможности применения предложенной методики для планирования деятельности ГДЗС в Республике Казахстан, где этим вопросам уделяется особое внимание. В статье анализируются временные характеристики работы ГДЗС, такие как время прибытия на вызов, подготовка и выполнение действий в непригодной для дыхания среде (НДС). Установлено, что наиболее значимыми показателями являются время занятости звена и вероятность необходимости повторных циклов включения. На основе статистических данных о пожарах разработана модель, позволяющая прогнозировать число случаев использования ГДЗС. Модель подтверждена статистической проверкой и признана адекватной. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации численности звеньев, распределения резервов и обеспечения безопасности их работы. Таким образом, исследование открывает новые возможности для повышения эффективности и надежности функционирования ГДЗС в условиях чрезвычайных ситуаций. Результаты исследования могут быть применены при организации ГДЗС в подразделениях (распределение количество звеньев в дежурных сутках) в процессе формирования резервных газодымозащитников; при расчете нормы положенности обеспечения средствами ГДЗС и обеспечении безопасности работ, проводимых в непригодной для дыхания среде.

**Ключевые слова:** пожарная безопасность, принятие решений, моделирование количества пожаров

**Для цитирования:** Алдабеков А.Т. Математическое моделирование применения звеньев газодымозащитной службы в Республики Казахстан // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 4 (35). С.44-49. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.45.94.005>

Original article

## MATHEMATICAL MODELING OF APPLICATION OF GAS AND SMOKE PROTECTION SERVICE IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**Aslan T. Aldabekov**

*Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan*

**Corresponding author:** *Aslan T. Aldabekov, tushila\_010@mail.ru*

**Abstract.** The article presents a mathematical model for determining the daily number of fires requiring the involvement of gas and smoke protection services (hereinafter referred to as GSPS). The author proposes a stochastic approach to modeling and forecasting parameters, enabling the optimization of resource allocation. This, in turn, contributes to reducing damage from emergencies. The practical significance of the results lies in the potential application of the proposed methodology for planning GSPS activities in the Republic of Kazakhstan, where considerable attention is given to these issues. The article analyzes the temporal characteristics of GSPS operations, such as response time, preparation, and execution of actions in an environment unsuitable for breathing (USB). It has been established that the most critical indicators are the time spent by the team and the probability of requiring repeated engagement cycles. Based on statistical fire data, a model was developed to predict the frequency of GSPS usage. The model underwent statistical validation and was deemed adequate. The results can be used to optimize team size, reserve distribution, and work safety measures. Thus, the study unveils new opportunities for enhancing the efficiency and reliability of GSPS operations in emergencies. The findings can be applied to organizing GSPS teams in departments (allocation of teams per shift), forming GSPS reserves, calculating equipment provisioning norms, and ensuring safety during operations in USB environments.

**Keywords:** fire safety, decision making, modelling of the number of fires

**For citation:** Aldabekov A.T. Mathematical modeling of the use of gas and smoke protection service units in the Republic of Kazakhstan // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2024. № 4 (35). С. 44-49. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.45.94.005>

### Введение

Рассмотрены основные параметры процесса функционирования звеньевгазодымозащитной службы (далее - ГДЗС) на пожаре, влияющие на организацию газодымозащитной службы пожарных подразделений. В целях оптимизации деятельности, был предложен и реализован стохастический подход к моделированию и прогнозированию параметров работы звеньев ГДЗС [1-3].

Улучшение процессов распределения имеющихся сил и средств ГДЗС возможно на основе предложенного Брушлинским Н.Н и Грачевым В. А. способа моделирования. Это может привести к значительному снижению ущерба от чрезвычайных ситуаций и пожаров.

Практическая значимость заключается в возможности использования полученных результатов при планировании и организации привлечения ГДЗС к ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций [4].

В Республике Казахстан вопросам организации деятельности ГДЗС уделяется очень большое внимание, так как для обеспечения ведения оперативных действий пожарных подразделений внепригодной для дыхания среде при спасении людей, тушении пожаров и ликвидации последствий аварий во всех пожарных подразделениях должны быть созданы ГДЗС.

Основными временными характеристиками процесса функционирования газодымозащитной службы, отражающими ее реакцию на поступающие вызовы, являются [5-10]:

- Время следования первого пожарного подразделения (и следующих за ним, в случае необходимости) к месту вызова;

- Время основных действий (с момента формирования звена ГДЗС, проведение контрольной проверки дыхательного аппарата, назначение постового на посту безопасности, до входа в НДС) на месте вызова;
- Время основных работ (с момента включения звена ГДЗС для проведения работы в НДС до ее ликвидации) на месте вызова;
- Время следования пожарных подразделений к месту дислокации.

### Основная часть

Под временем занятости звена ГДЗС понимается промежуток времени от момента включения газодымозащитников звена до выхода из непригодной для дыхания среды и выключения из дыхательного аппарата.

В виду того, что основные действия могут быть различными (например, тушение пожаров, ликвидация последствий аварий, откачка воды), то и детализация этого периода времени может быть различной. Например, основные действия по тушению пожара включают в себя разведку пожара, спасение или эвакуация людей, вынос товароматериальных ценностей или имущества, развертывание сил и средств, локализации и ликвидация горения, выполнение специальных работ с аварийно-спасательным оборудованием, к тому же все эти действия могут выполняться одновременно.

Во всех случаях время занятости сотрудников больше времени основной работы (например, на тушение пожара). В первую очередь, эту величину следует знать, для того чтобы обосновать численность сотрудников пожарных подразделений, которые будут действовать в оперативном режиме. Чтобы обосновать запасы огнетушащих веществ, воды, порошка, пенообразователя и иных средств для тушения пожара, необходимо оценивать длительность процесса тушения. Время, в течение которого пожарные выполняют работу в условиях, не позволяющих использовать дыхательные аппараты, является важным показателем эффективности работы пожарных подразделений гарнизона. Помимо этого, существует вероятность того, что будет несколько циклов включения одного из звеньев ГДЗС.

В теории и с учетом вероятностного подхода все временные характеристики процесса функционирования ГДЗС можно определить как непрерывные случайные величины, которые имеют численные характеристики (математические ожидания, дисперсию и среднее квадратичное отклонение).

Рассмотрим дискретную случайную величину  $N_t$  – количество пожаров с использованием ГДЗС в сутки. Теоретически эта величина может принимать любое значение от 0 до  $\infty$ , в зависимости от типа пожара.

Если взять число пожаров с использованием ГДЗС  $n = 0, 1, 2, 3$  и  $>3$ , то вариационный ряд этого процесса будет выглядеть следующим образом (Табл.1) [2].

**Табл.1. Вариационный ряд числа пожаров с применением ГДЗС в Республике Казахстан**

Число пожаров с применением ГДЗС, $N_t$	0	1	2	3	>3	$N_0$
Эмпирическое число суток	13850	3554	458	27	0	17889

Исходя из предположения о пуассоновости, определяем математически вероятные количества пожаров в сутки  $N_t$ :

$$N_t = N_0 \frac{\mu^k}{k!} \exp(-\mu) \quad (1)$$

$N_0$  – общее количество наблюдений (за год);

$\mu$  – параметр теоретической модели (оцениваемый как среднее значение по данным таблицы  $1 \mu = 0,41$  пож·сут<sup>-1</sup>).

Результаты расчета по формуле (1) с целью сопоставления данных с таблицей 1 представлены в Табл.2.

**Табл.2. Теоретический ряд числа пожаров с применением ГДЗС в Республике Казахстан**

Число пожаров с применением ГДЗС, $N_t$	0	1	2	3	>3	$N_0$
Теоретическое число суток	13932	3483	435	36	2	17888

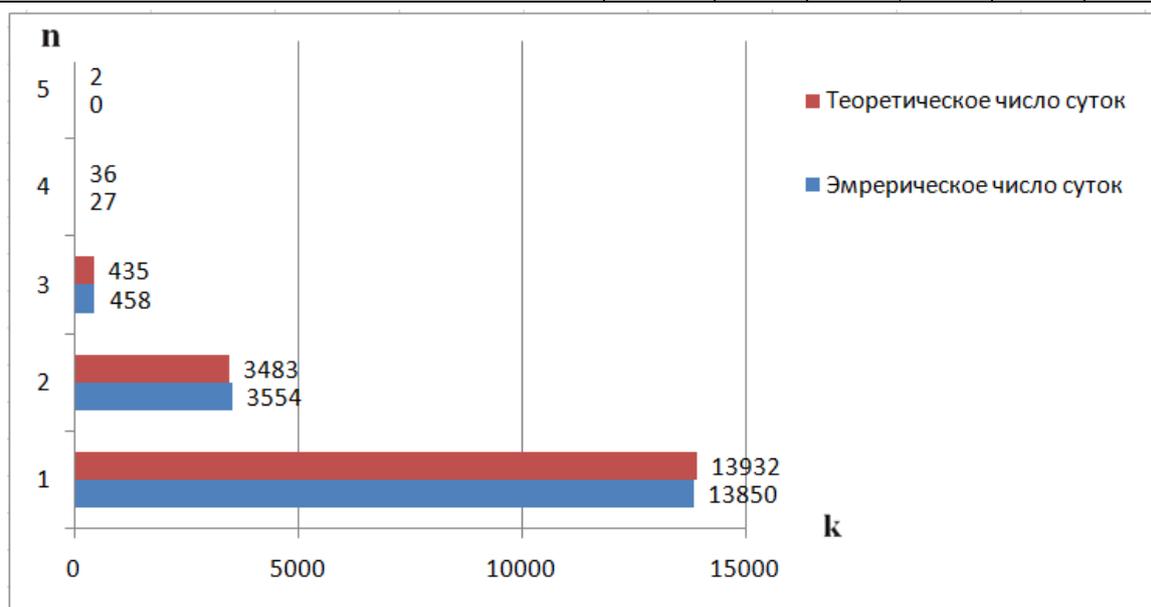


Рис.1. График сравнения эмпирического и теоретического числа суток в зависимости вероятности количества пожаров. (n – количество звеньев ГДЗС на пожаре, k – количество пожаров, потушенных звеньями ГДЗС)

Проверим адекватность модели,

$$\chi^2 = \frac{(N - N_t)^2}{N_t} \quad (2)$$

Воспользуемся критерием Романовского для подтверждения нашего предварительного вывода. Сначала вычислим значение критерия Пирсона (объединив последние 2 разряда):

$$\chi^2 = \frac{(13850 - 13932)^2}{13932} + \frac{(3554 - 3483)^2}{3483} + \frac{(458 - 435)^2}{435} + \frac{(27 - 36)^2}{36} + \frac{(0 - 2)^2}{2} = 7,4$$

Модель адекватно  $\chi^2=7,4$  не превышает табличное значение 7,8 при уровне значимости  $\alpha=0,05$  и количестве степеней свободы  $\gamma=4-1$ .

### Заключение

Таким образом, результаты исследования определяют объективную возможность применения методов системного анализа при моделировании процесса функционирования ГДЗС Республики Казахстан [2]. Эти результаты могут быть использованы при решении следующих практических задач:

1. При организации ГДЗС в подразделениях (распределение количество звеньев в дежурных сутках) – по результатам расчетов установлено, что ежедневно максимально происходит 3 пожара

с применением сил и средств газодымозащитной службы, в этой связи в пожарных подразделениях МЧС РК необходимо не менее 2-х звеньев ГДЗС для проведения работ в непригодной для дыхания среде;

2. При формировании количество резервных газодымозащитников в подразделениях – в случае одновременного возникновения одного и более пожара, где необходимо проведение работ в НДС, а также обеспечение качества проводимых работы необходимы дополнительные силы;

3. При расчете нормы положенности обеспечения средствами ГДЗС – проведение работ в НДС предусматривает затраты (воздуха, средств защиты органов дыхания, резервных средств для спасения пострадавших, а также проведение дополнительных работ по обеспечению работоспособности средств ГДЗС);

4. В процессе обеспечения безопасности работ, проводимых в непригодной для дыхания среде – работа в НДС всегда сопровождается рисками для здоровья и жизни как самих газодымозащитников, так и для пострадавших (спасаемых). В этой связи обеспечение безопасности работы звена ГДЗС в НДС, выставляются посты безопасности, которые контролируют состояние, время пребывания в НДС и своевременно организуют резервные звенья для проведения аварийно-спасательные работы пожарных.

#### Список источников

1. Об утверждении наставления по организации газодымозащитной службы органов государственной противопожарной службы Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан: приказ КПС МЧС РК от 08.09.2022 г. №2. – URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/kps/documents/details/381668?lang=ru&ysclid=1w8rxudf9h454466110> (дата обращения 03.04.2023).

2. Брушлинский Н.Н. Математические методы и модели управления в противопожарной службе / Брушлинский Н.Н., Соколов С.В. - 2-е изд. Испр. И доп. М.: Академия ГПС МЧС России, 2020. 200 с. - URL: <https://bibliomchs37.ru/read/5831> (дата обращения 03.04.2023).

3. Грачев В.А. Средства индивидуальной защиты органов дыхания пожарных (СИЗОД): учебное пособие. 2-е изд.; перераб. / Грачев В.А., Собоурь С.В., Коршунов И.В. и др. М.: Пож. книга, 2012. 190 с., ил. - URL: <https://znanium.ru/catalog/document?id=373983&ysclid=m3q0pro7cw739529689> (дата обращения 15.03.2023).

4. Грачев В.А. Газодымозащитная служба / Грачев В.А., Терехнев В.В., Поповский Д.В. М.: Калан, 2012. 280 с., ил. - URL: <https://fireman.club/literature/gazodymozashhitnaya-sluzhba-uchebnik-grachev-v-a-popovskij-d-v-meshalkin-m-pozhkniga-2004/?ysclid=m3q0t7owmf853646808> (дата обращения 20.02.2023).

5. Терехнев В.В. Расчет параметров развития и тушения пожаров (Методика. Примеры. Задания) / Терехнев В.В. Екатеринбург: ООО Издательство «Калан», 2012. 460 с. - URL: [https://www.centrmag.ru/catalog/product/raschet\\_parametrov\\_razvitiya\\_i\\_tusheniya\\_pozharov\\_metodika\\_primegy\\_zadaniya/?ysclid=m3q0vysdkq201884175](https://www.centrmag.ru/catalog/product/raschet_parametrov_razvitiya_i_tusheniya_pozharov_metodika_primegy_zadaniya/?ysclid=m3q0vysdkq201884175) (дата обращения 10.01.2023).

6. Мусайбеков А.Г. Использование дискриминантного анализа при определении условного признака сложности пожара // Наука и образование в гражданской защите – 2022. - №3 – С. 49-55. - URL: [https://agz.edu.kz/2022g\\_nayka\\_i\\_obrazovanie\\_v\\_grazhdanskoj\\_zashite\\_3\\_47](https://agz.edu.kz/2022g_nayka_i_obrazovanie_v_grazhdanskoj_zashite_3_47) (дата обращения 10.04.2023).

7. Мусайбеков А.Г. Модель и результаты определения ранга пожара на основе дискриминантного анализа // Наука и образование в гражданской защите. -2021. - № 3 - С. 27-32. - URL: [https://agz.edu.kz/nayka\\_i\\_obrazovanie\\_v\\_grazhdanskoj\\_zashite\\_3\\_42\\_.html](https://agz.edu.kz/nayka_i_obrazovanie_v_grazhdanskoj_zashite_3_42_.html) (дата обращения 22.04.2023).

8. Захаров И.А. Анализ временных характеристик функционирования пожарно-спасательных подразделений // Наука и образование в гражданской защите – 2021. - №4 – С. 74-80. - URL: [https://agz.edu.kz/vestnik\\_4\\_44\\_.html](https://agz.edu.kz/vestnik_4_44_.html) (дата обращения 02.05.2023).

9. Алдабеков А.Т., Аскараров Р.С. Совершенствование учебно-тренировочного комплекса для подготовки газодымозащитников // Наука и образование в гражданской защите – 2021. - №4 – С. 94-100. - URL: [https://agz.edu.kz/vestnik\\_4\\_44\\_.html](https://agz.edu.kz/vestnik_4_44_.html) (дата обращения 02.05.2023).

10. Алдабеков А.Т. Совершенствование газодымозащитной службы в Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан.// Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Сборник тезисов и докладов XIII-ой Международной научно-практической конференции. 07 октября 2022 г. – Кокшетау: АГЗ им. М. Габдуллина МЧС РК, 2022. – 275 с.

## References

1. On approval of the instruction on the organization of the gas and smoke protection service of the state fire service of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan: Order of the KPS of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan dated 08.09.2022 №. 2. – URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/kps/documents/details/381668?lang=ru&ysclid=lw8rxudf9h454466110> (date accessed 03.04.2023).
2. Brushlinsky N.N. Mathematical methods and management models in the fire service / Brushlinsky N.N., Sokolov S.V. - 2nd ed. Ispr. And additional M.: Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2020. 200 pp. - URL: <https://bibliomchs37.ru/read/5831> (date accessed 03.04.2023).
3. Grachev V.A. Personal respiratory protection equipment for firefighters (PPE): a textbook. 2nd ed.; reprint / Grachev V.A., Sobur S.V., Korshunov I.V., etc. M.: Fire book, 2012. 190 pp., ill. - URL: <https://znanium.ru/catalog/document?id=373983&ysclid=m3q0pro7cw739529689> (date accessed 15.03.2023).
4. Grachev V.A. Gas and smoke protection service / Grachev V. A., Terebnev V.V., Popovsky D.V. M.: Kalan, 2012. 280 pp., ill. - URL: [https://www.centrmag.ru/catalog/product/raschet\\_parametrov\\_razvitiya\\_i\\_tusheniya\\_pozharov\\_metodika\\_primery\\_zadaniya/?ysclid=m3q0vysdkq201884175](https://www.centrmag.ru/catalog/product/raschet_parametrov_razvitiya_i_tusheniya_pozharov_metodika_primery_zadaniya/?ysclid=m3q0vysdkq201884175) (date accessed 20.02.2023).
5. Terebnev V.V. Calculation of fire development and extinguishing parameters (Methodology. Examples. Tasks) / Terebnev V.V. Ekaterinburg: Kalan Publishing House, 2012. 460 pp. - URL: [https://www.centrmag.ru/catalog/product/raschet\\_parametrov\\_razvitiya\\_i\\_tusheniya\\_pozharov\\_metodika\\_prime\\_ry\\_zadaniya/?ysclid=m3q0vysdkq201884175](https://www.centrmag.ru/catalog/product/raschet_parametrov_razvitiya_i_tusheniya_pozharov_metodika_prime_ry_zadaniya/?ysclid=m3q0vysdkq201884175) (date accessed 10.01.2023).
6. Musaibekov A.G. The use of discriminant analysis in determining the conditional sign of fire complexity // Science and education in civil protection – 2022. - №. 3 – pp. 49-55. - URL: [https://agz.edu.kz/2022g\\_nayka\\_i\\_obrazovanie\\_v\\_grazhdanskoj\\_zashite\\_3\\_47](https://agz.edu.kz/2022g_nayka_i_obrazovanie_v_grazhdanskoj_zashite_3_47) (date accessed 10.04.2023).
7. Musaibekov A.G. Model and results of fire rank determination based on discriminant analysis // Science and education in civil protection. -2021. - №. 3 - pp. 27-32. - URL: [https://agz.edu.kz/nayka\\_i\\_obrazovanie\\_v\\_grazhdanskoj\\_zashite\\_3\\_42.html](https://agz.edu.kz/nayka_i_obrazovanie_v_grazhdanskoj_zashite_3_42.html) (date accessed 22.04.2023).
8. Zakharov I.A. Analysis of the temporal characteristics of the functioning of fire and rescue units // Science and education in civil protection – 2021. - №.4 – pp. 74-80. - URL: [https://agz.edu.kz/vestnik\\_4\\_44.html](https://agz.edu.kz/vestnik_4_44.html) (date accessed 02.05.2023).
9. Aldabekov A.T., Askarov R.S. Improvement of the training complex for the training of gas and smoke defenders.// Science and education in civil protection – 2021. - №. 4 – pp. 94-100. - URL: [https://agz.edu.kz/vestnik\\_4\\_44.html](https://agz.edu.kz/vestnik_4_44.html) (date accessed 02.05.2023).
10. Aldabekov A.T. Improvement of the gas and smoke protection service at the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan.// Actual problems of fire safety, prevention and liquidation of emergency situations. Collection of abstracts and reports of the XIII International Scientific and Practical Conference. October 07, 2022 – Kokshetau: M. Gabdullin AGZ of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan, 2022. – 275 pp.

Статья поступила в редакцию 18.11.2024, одобрена после рецензирования 02.12.2024, принята к публикации 04.12.2024.

The article was submitted 18.11.2024, approved after reviewing 02.12.2024, accepted for publication 04.12.2024.