

DOI: 10.25629/SMW.2026.01.04

УДК: 614.842

**Басов Вадим Анатольевич**, кандидат технических наук, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России

**Холостов Александр Львович**, доктор технических наук, доцент, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России

**Basov V.A.**, Candidate of Technical Sciences, Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia

**Kholostov A.L.**, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia

✉ [vabasov6914@mail.ru](mailto:vabasov6914@mail.ru); [A.Holostov@academygps.ru](mailto:A.Holostov@academygps.ru)

## Особенности управления подразделениями противопожарной службы с использованием средств радиосвязи

### Аннотация

Рассматриваются вопросы управления силами и средствами противопожарной службы в процессе тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ. Учитываются особенности взаимодействия, определяемые порядком использования привлекаемых сил и средств в противопожарной службе. Рассматриваются возможности математического моделирования для определения вероятностей состояний, в которых может находиться радиосеть для прогнозирования режимов задержки или потери управления. Приводится пример разработки математической модели для взаимодействия трёх абонентов на месте тушения пожара или проведения аварийно-спасательных работ. Рассматриваемая в качестве примера математическая модель позволяет определить вероятности различных состояний, в которых может находиться радиосеть и тем самым исключить варианты режимов недоступности радиосети, влияющими на потерю управления привлекаемыми силами и средствами.

### Ключевые слова

управление силами и средствами, радиосвязь, устойчивость радиосвязи, тушение пожара

## Fire service unit management features using radio communication

### Abstract

This article examines the management of fire service forces and assets during firefighting and emergency rescue operations. It takes into account the interaction characteristics determined by the procedures for using the resources deployed in the fire service. It explores the potential of mathematical modeling for determining the probabilities of radio network states to predict delays or loss of control. An example of developing a mathematical model for the interaction of three subscribers at a firefighting or emergency rescue site is provided. This mathematical model, considered as an example, allows one to determine the probabilities of various radio network states and thereby exclude radio network unavailability scenarios that could lead to loss of control over the resources deployed.

**Keywords**

force and asset management, radio communications, radio communication stability, firefighting

Подразделения федеральной противопожарной службы, привлекаемые к тушению пожаров и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций и их последствий, имеют характерную структуру, определяющую особенности управления и взаимодействия в процессе выполнения соответствующих задач [1, 2]. Кроме того, порядок управления привлекаемыми подразделениями и их взаимодействие определяется рядом нормативных документов, основным из которых, является Боевой устав пожарной охраны. Этот устав утвержден Приказом МЧС России от 16 сентября 2024 г. №777. В соответствии с этим приказом действия по тушению пожаров и проведению АСР определяются как боевые действия. Основной боевой задачей подразделений пожарной охраны при проведении боевых действий является спасение людей и имущества при пожарах, оказание первой помощи. Выполнение требований Боевого устава является обязательным для всего личного состава органов управления и подразделений пожарной охраны, участвующего в тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ (АСР), и привлеченных к тушению пожаров и проведению АСР сил.

Важное место в процессе управления подразделениями пожарной охраны при выполнении всего комплекса решаемых задач занимает радиосвязь [3, 4]. От эффективности организации и использования радиосвязи зависит не только успешность выполнения поставленных задач, но и жизни как спасаемых людей, так и самих пожарных. Рассмотрим основные моменты, связанные с особенностями управления подразделениями противопожарной службы с использованием средств радиосвязи. При этом отметим, что основным способом взаимодействия является радиосеть, т.е. способ организации радиосвязи между тремя и более абонентами, использующими одну частоту. Данный способ организации радиосвязи позволяет рационально использовать частотный ресурс, но создает сложности при взаимодействии большого числа абонентов, например, при тушении крупного пожара.

Основной структурной единицей на месте тушения пожара или проведения АСР является звено газодымозащитной службы (ГДЗС). Рассмотрим несколько вариантов организации связи на месте выполнения основной боевой задачи.

Самый простой вариант – в радиосети находятся руководитель тушения пожара (РТП), 2 командира звена ГДЗС и два поста безопасности. (рисунок 1). Регламент взаимодействия следующий:

- РТП может вызывать оба поста безопасности и обоих командиров звеньев ГДЗС;
- каждый командир звена может вызвать только пост безопасности и руководителя тушения пожара;
- взаимодействие постов безопасности и командиров звеньев ГДЗС между собой не предусмотрено.

Однако, следует учитывать тот факт, что все радиостанции находятся в одной радиосети, поэтому имеется возможность установления связи между любой парой абонентов.

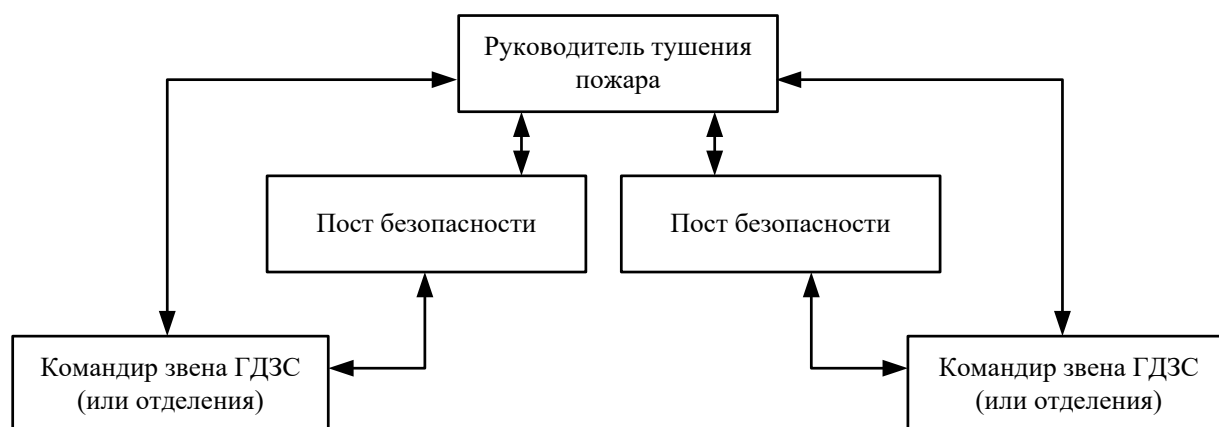


Рисунок 1 – Организация связи и управления при работе одного караула (два поста безопасности и два звена (отделения))

Следующий вариант взаимодействия аналогичен первому, но количество звеньев ГДЗС увеличивается до 3-х (Рисунок 2).

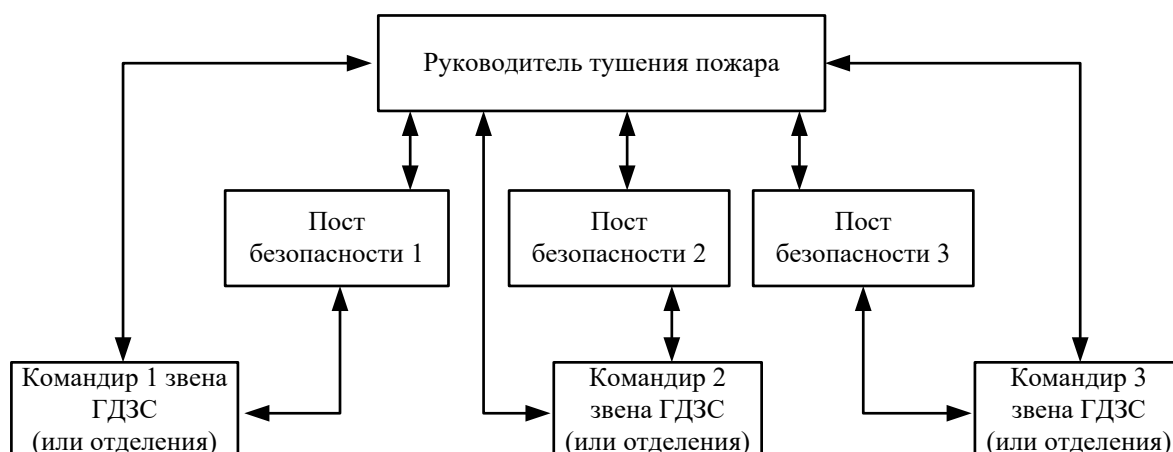


Рисунок 2 – Организация связи и управления при работе трех постов безопасности и трех звеньев (отделений)

Порядок взаимодействия аналогичен рассмотренному выше, поэтому детально на нем останавливаться не будем. Применительно к данным вариантам взаимодействия следует лишь заметить, что посты безопасности используют радиосеть не часто (1 раз в десять минут).

При увеличении масштабов выполняемой боевой задачи увеличивается количество привлекаемых сил и, соответственно, количество абонентов в радиосети. Вариант взаимодействия в этом случае выглядит следующим образом (рисунок 3) организуются контрольно-пропускной пункт (КПП) и штаб, которые занимают промежуточное место в процессе информационного взаимодействия между постами безопасности, руководителем тушения пожара и командирами звеньев.

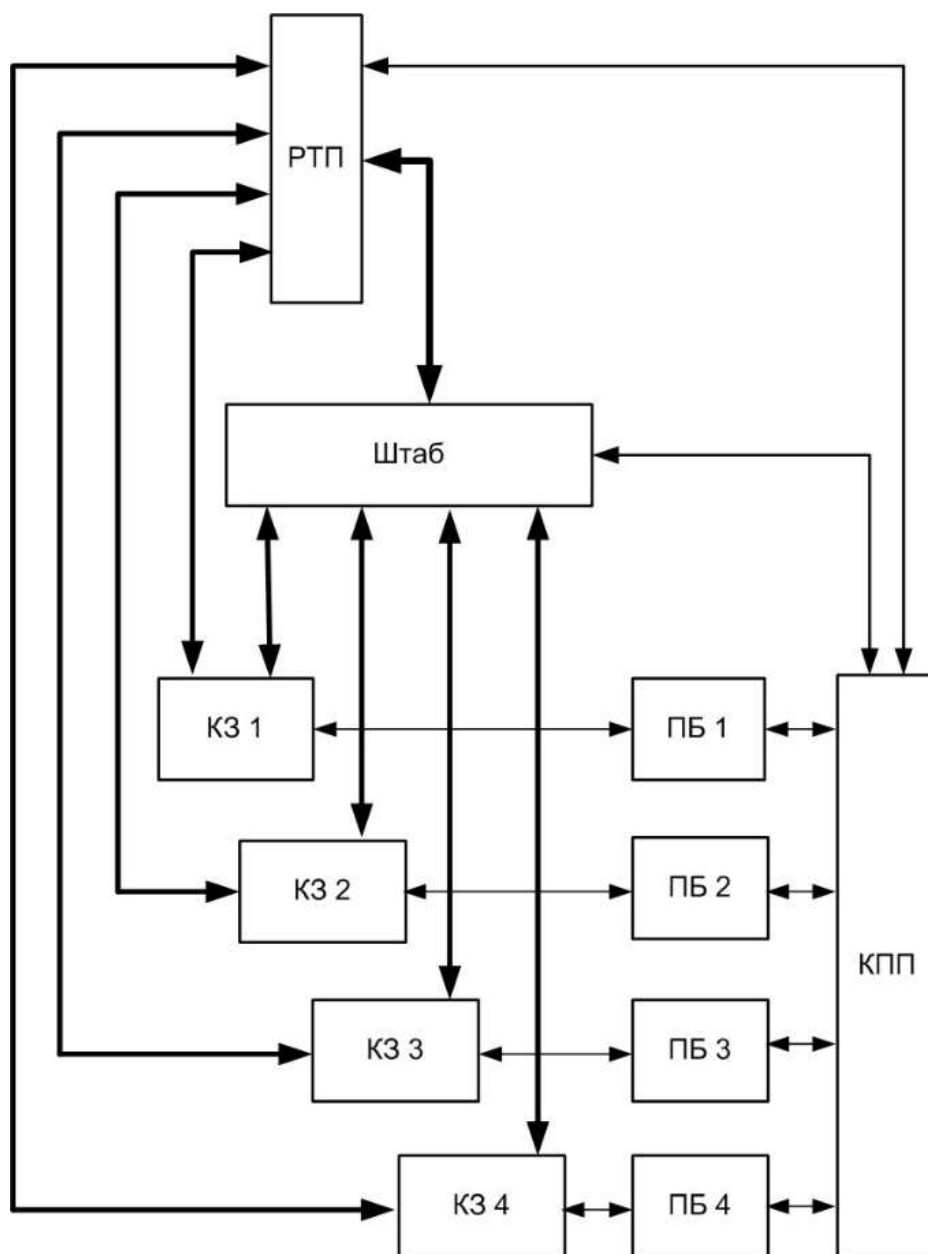


Рисунок 3 – Организация связи и управления при создании штаба и контрольно-пропускного пункта

При дальнейшем увеличении масштабов выполняемой боевой задачи создаются участки тушения пожара и сектора. Количество абонентов в этом случае увеличивается кратно.

Для анализа процессов, протекающих в радиосети и влияющих на управление подразделениями, выполняющими действия по тушению пожаров или проведению АСР, рассмотрим поступление вызовов в радиосети на временном отрезке (рисунок 4).

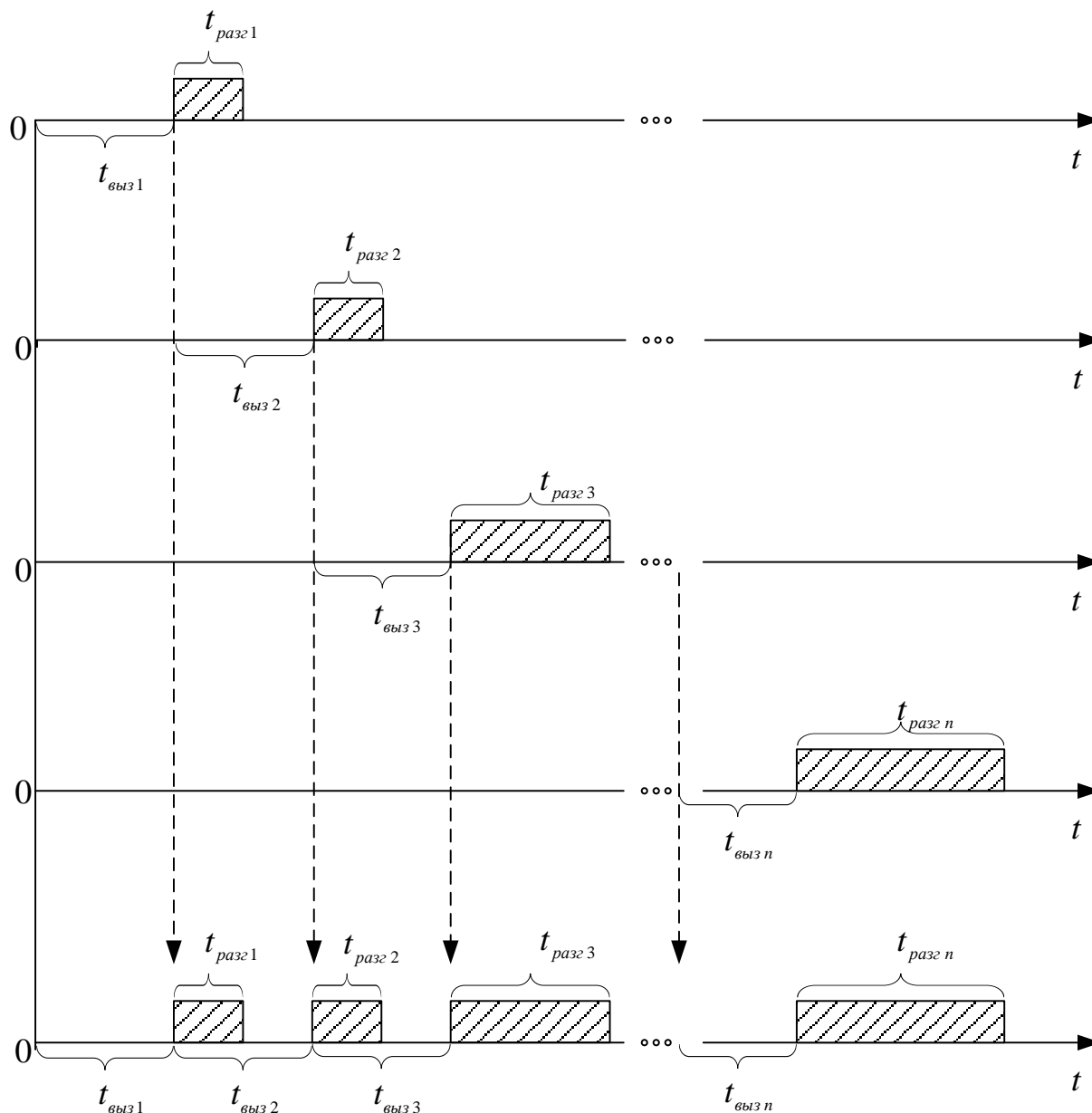


Рисунок 4 – Поступление вызовов в радиосети

Используя промежутки времени между поступлением вызовов в радиосеть ( $t_{выз1}$ ,  $t_{выз2}$ , ...,  $t_{вызн}$ ), можно определить такую величину, как средняя интенсивность поступления вызовов ( $\lambda$ ):

$$\lambda = \frac{1}{t_{ср. выз}}, \quad t_{ср. выз} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{выз i}}{n} \quad (1).$$

А данные о продолжительности вызовов ( $t_{разг1}$ ,  $t_{разг2}$ , ...,  $t_{разг n}$ ) помогут определить среднюю скорость освобождения радиосети ( $\mu$ ):

$$\mu = \frac{1}{t_{cp. \text{разг}}}, \quad t_{cp. \text{разг}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{\text{разг}i}}{n} \quad (2).$$

При небольшом количестве абонентов в радиосети не возникает сложности с передачей информации и, как следствие, с управлением силами и средствами, привлекаемыми к тушению пожара или проведению АСР. Вполне логично предположить, что при увеличении количества абонентов могут возникнуть сложности с передачей информации и задержками в управлении, когда возникает необходимость в передаче информации, а радиосеть занята какой-либо парой абонентов.

Для анализа состояний в которых может находиться радиосеть и, следовательно, анализа устойчивости управления разработан ряд математических моделей, позволяющих оценить состояние доступности радиосети для отдельных абонентов для различных вариантов их взаимодействия, некоторые из которых рассмотрены выше [5-8].

С помощью этих моделей определяются вероятности состояний, в которых может находиться радиосеть и, таким образом, вероятность задержки в управлении или потери управления силами и средствами. Рассмотрим этот процесс на примере взаимодействия трех участников выполнения боевой задачи с использованием радиосети. Обозначим их условно абонент 1 (A<sub>1</sub>), абонент 2 (A<sub>2</sub>), абонент 3 (A<sub>3</sub>).

Предполагается, что A<sub>2</sub> и A<sub>3</sub> не ведут переговоры друг с другом, хотя технически такая возможность не исключается, поскольку все абоненты находятся в одной радиосети. Такая сеть может находиться в 5-и состояниях S<sub>0</sub> ÷ S<sub>4</sub>, которые представлены в таблице. Вероятности нахождения радиосети в этих состояниях - p<sub>0</sub> ÷ p<sub>4</sub> соответственно, а граф переходов, отражающий процессы, протекающие в такой сети радиосвязи представлен на рисунке 5.

Таблица – Состояния сети связи в соответствии с графом переходов на рисунке 5

{S}	Состояния	Примечание
S <sub>0</sub>	Сеть свободна	
S <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> ↔ A <sub>2</sub> ,	
S <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> ↔ A <sub>3</sub> ,	
S <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> ↔ A <sub>2</sub> , A <sub>3</sub> → A <sub>1</sub> ,	Задержка в управлении, критический случай
S <sub>4</sub>	A <sub>1</sub> ↔ A <sub>3</sub> , A <sub>2</sub> → A <sub>1</sub>	Задержка в управлении, критический случай

Обозначения здесь и далее: A<sub>1</sub> ↔ A<sub>2</sub> – переговоры между абонентом A<sub>1</sub> и абонентом A<sub>2</sub> по инициативе любого из них; A<sub>2</sub> → A<sub>1</sub> – абонент A<sub>1</sub> ждёт освобождения радиосети для связи с абонентом A<sub>2</sub>

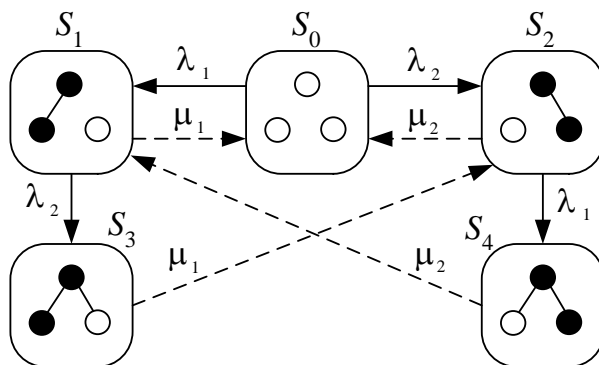


Рисунок 5 – Граф переходов сети радиосвязи при взаимодействии трех абонентов

Данная модель разработана с предположением одинаковой интенсивности необходимости переговоров между  $A_1$  и  $A_2/A_3$ . Это обстоятельство позволяет существенно упростить саму модель.

Дадим необходимые пояснения по обозначениям на рисунке 2 и в таблице. Верхний кружок из трех обозначает  $A_1$ , нижний левый кружок –  $A_2$ , нижний правый кружок –  $A_3$ . Состояние  $S_0$  – кружки светлые линии между ними отсутствуют – никаких переговоров в сети нет, сеть радиосвязи свободна. Состояние  $S_1$  – верхний кружок темный, нижний правый темный и они соединены линией - в радиосети ведутся переговоры  $A_1$  и  $A_2$ . Аналогично состояние  $S_2$ . Состояние  $S_3$  –  $A_1$  и  $A_2$  ведут переговоры, но у  $A_3$  возникла необходимость связи с  $A_1$  и он ожидает освобождения радиосети, т.е. прекращения переговоров между  $A_1$  и  $A_2$  (правый нижний светлый кружок соединен линией с верхним темным). При завершении переговоров между  $A_1$  и  $A_2$  сеть радиосвязи переходит в состояние  $S_2$ . С учетом принятого выше допущения, считаем, что переход происходит без каких-либо промежуточных состояний. Интенсивности переходов между состояниями определяют параметры  $\lambda$  и  $\mu$ .

Система уравнений для стационарного случая в соответствии с графом на рисунке 5 имеет вид [5]:

$$\begin{aligned} 0 &= -(\lambda_1 + \lambda_2)p_0 + \mu_1p_1 + \mu_2p_2; \\ 0 &= \lambda_1p_0 - (\lambda_2 + \mu_1)p_1 + \mu_2p_4; \\ 0 &= \lambda_2p_0 - (\lambda_1 + \mu_2)p_2 + \mu_1p_3; \\ 0 &= \lambda_2p_1 - \mu_1p_3; \\ 0 &= \lambda_1p_2 - \mu_2p_4; \\ \sum_{i=0}^4 p_i &= 1 \end{aligned} \tag{3}$$

где  $\lambda_1$  – интенсивности возникновения необходимости переговоров между  $A_1$  и  $A_2$ , а  $\lambda_2$  – интенсивности необходимости переговоров между  $A_1$  и  $A_3$  соответственно;  $\mu_1, \mu_2$  – параметры, обратно пропорциональные среднему времени переговоров между  $A_1$  и  $A_2 / A_3$  соответственно;  $\{p\}$  – вероятности состояний  $\{S\}$ .

Для системы уравнений (1) получено точное аналитическое решение [5]:

$$p_0 = \frac{z}{z + x_1 \left(1 + \frac{\lambda_2}{\mu_1}\right) + x_2 \left(1 + \frac{\lambda_1}{\mu_2}\right)}; \tag{4}$$

$$p_1 = p_0 \frac{x_1}{z}; \quad p_2 = p_0 \frac{x_2}{z}; \quad p_3 = p_0 \frac{\lambda_2 x_1}{\mu_1 z}; \quad p_4 = p_0 \frac{\lambda_1 x_2}{\mu_2 z};$$

где  $z = \lambda_1 \mu_1 + \lambda_2 \mu_2 + \mu_1 \mu_2; \quad x_1 = \lambda_1 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2); \quad x_2 = \lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1).$

Для большего количества абонентов радиосети с различными вариантами взаимодействия таблица состояний и количество уравнений могут содержать до 40 [5] и более [8] записей. В этом случае можно использовать соответствующие программы.

Применение моделей, аналогичных рассмотренной выше, позволяет на практике определить критические состояния радиосети, для каждого абонента и рассчитать вероятности их появления в зависимости от параметров информационного обмена ( $\lambda$  и  $\mu$ ) между различными абонентами. При этом появляется возможность спрогнозировать и исключить появление критических режимов в управлении силами и средствами при выполнении боевой задачи [9]. Повысить устойчивость управления за счет исключения режимов потери управления с использованием моделей, аналогичных рассмотренной выше, можно с помощью специальной методики [9], учитывающей приоритет отдельных абонентов.

## Выводы

Таким образом с использованием соответствующей методики можно обеспечить устойчивость радиосвязи для отдельных абонентов радиосети и, как следствие повысить устойчивость управления силами и средствами, привлекаемыми к тушению пожара и проведению АСР.

Математические модели, позволяющие определить состояния радиосети [5-8] разработаны для типовых вариантов взаимодействия, однако, описанный подход позволяет разработать соответствующие модели для различных случаев. При этом сложность разрабатываемых моделей будет существенно возрастать для вариантов с большим количеством абонентов в радиосети. В этом случае также будет уменьшаться и доступность радиосвязи для отдельных абонентов, не обладающих приоритетом. Такое положение дел позволяет сделать предположение о необходимости создания дополнительной радиосети при увеличении количества абонентов или интенсивности радиообмена. В качестве критерия необходимости в дополнительной радиосети можно использовать такую характеристику, как оперативность радиосвязи [9].

## Литература

1. Терехнев В. В., Семенов А. О., Тараканов Д. В. Теоретические основы принятия решений при управлении силами и средствами на пожаре // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. – 2012. – Т. 21, № 10. – С. 14–17.
2. Баканов М. О., Тараканов Д. В., Анкудинов М. В. Модель мониторинга для оперативного управления при ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций // Мониторинг. Наука и технологии. – 2017. – № 3(32). – С. 77–80. URL: <http://www.csmos.ru/index.php?page=mnt-issue-2017-3-11> (дата обращения: 01.03.2019).
3. Зыков В.И. Методологические основы моделирования и построения сетей оперативной связи в системе управления пожарной охраной: дисс. доктора техн. наук. – М.: АГПС МВД России, 2001. – 321 с.
4. Басов В. А., Холостов А. Л. Тактические особенности использования радиосвязи подразделениями федеральной противопожарной службы: монография. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2023. – 140 с.
5. Алешков М.В., Басов В.А., Колбасин А.А., Таранцев А.А., Холостов А.Л. Моделирование сети связи для управления действиями пожарных подразделений при тушении пожаров различной сложности // Пожаровзрывобезопасность, 2019. № 28(3), с. 59-69. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.03.59-69
6. Маркова Т. С., Таранцев А. А. Моделирование схемы взаимодействия сил и средств при ликвидации пожара в зоологическом парке // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2016. № 1. С. 85–92.
7. Таранцев А. А., Маркова Т. С., Бондарь А. А. Сценарии развития событий и действий оперативных служб при тушении пожаров в зоологическом парке // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2015. № 4. С. 5–12.
8. Пелех М. Т. Модели и методы оценивания и совершенствования деятельности государственной противопожарной службы (на примере Республики Коми): дис. ... канд. техн. наук. СПб. 2009. 143 с.
9. Басов В.А., Холостов А.Л. Методика управления радиосвязью в подразделениях противопожарной службы на основе требуемых показателей оперативности // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2023. № 4. С. 98–103. DOI: 10.25257/FE.2023.4.98-103

Поступила в редакцию: 27.01.26

Принята к публикации: 20.03.26