

## Об особенностях программного обеспечения для средств восстановления видимости звена газодымозащитной службы в задымленной среде

*В.Ю. Яровой, Г.Ю. Шамсудинов, В.В. Морозов*

*Сибирская пожарно-спасательная академия, Железногорск*

**Аннотация:** В статье рассматриваются принципы создания программного обеспечения, используемого в составе зондирующих систем для восстановления видимости звена газодымозащитной службы в задымленной среде при проведении аварийно-спасательных работ. Описывается архитектурная часть устройства и описание алгоритмов работы устройства. Внимание уделено методам формирования цифровой модели высот препятствий и визуализации пространственной обстановки. Приведены подходы к фильтрации ошибочных значений сенсоров и выделению значимых контуров объектов, обработки данных с ультразвуковой решётки, инфракрасных датчиков, а также датчиков температуры и влажности. Подчёркивается роль устройства в обеспечении точной навигации, снижении времени на поиск очага возгорания и повышении общей безопасности звена газодымозащитной службы при работе в задымленной среде.

**Ключевые слова:** газодымозащитная служба, задымленная среда, зондирующее устройство, алгоритмы, программное обеспечение, пожарная техника, разведка, моделирование, навигация, сенсорные данные.

### Введение

В настоящее время остро стоит вопрос внедрения современных технологий для решения сложных задач по ориентированию звена газодымозащитной службы (далее ГДЗС) в условиях сильной задымленности. Практика показывает, что при недостатке видимости, ориентирование в пространстве становится крайне затруднительным и может привести к трагическим последствиям [1-3]. В сфере деятельности пожарной охраны, немало случаев, когда звено ГДЗС теряло ориентирование в пространстве и погибало. Для полного понимания масштаба проблемы, обратимся к статистическим данным за 2011 – 2018 гг.

Как видно из приведённых данных, основная доля случаев гибели сотрудников пожарной охраны приходится на работу в непригодной для дыхания среде (далее НДС).

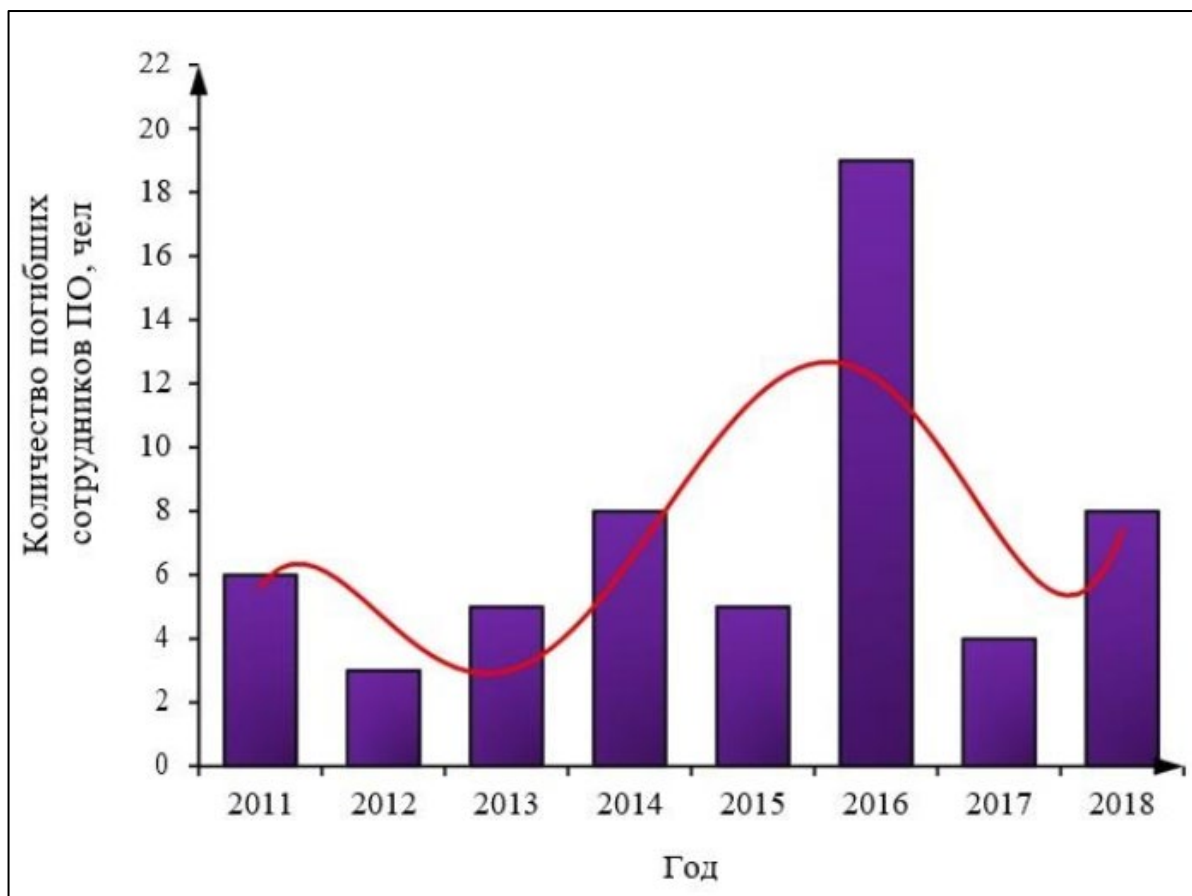


Рис. 1. – Распределение гибели сотрудников пожарной охраны на пожарах

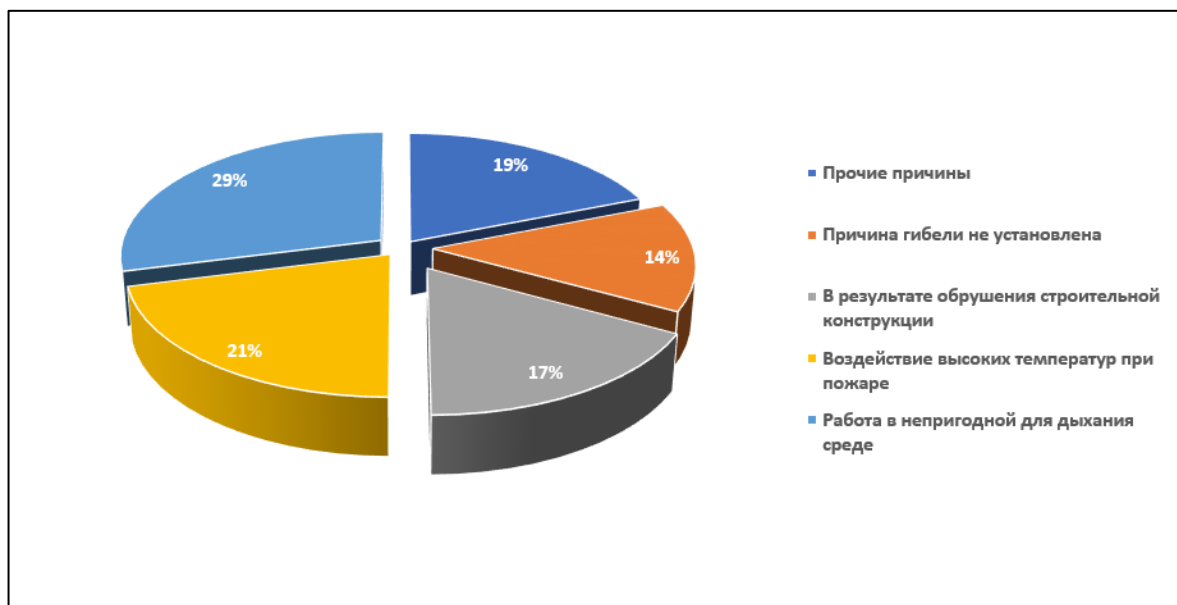


Рис. 2. – Распределение причин гибели пожарных

Это обусловлено тем, что в НДС крайне трудно оценить окружающую обстановку, что может привести к непредвиденным и опасным последствиям, как например:

- обрушение конструкций;
- выброс пламени при открытии двери;
- разрыв звена.

Указанные риски подчеркивают важность оснащения звеньев ГДЗС современными техническими средствами, способствующими эффективной ориентации в пространстве при выполнении задач в условиях плотного задымления.

Одним из перспективных направлений решения данной проблемы является разработка специализированного программного обеспечения (далее ПО), интегрируемого с аппаратными комплексами индивидуального и группового использования.

### **Структура программного обеспечения и логика функционирования**

ПО необходимо реализовывать последовательную архитектуру обработки данных от различных сенсоров, обеспечивая непрерывное формирование цифровой модели окружающего пространства. На основе результатов исследований [4] установлено, что наиболее эффективным подходом к решению задач в условиях сильной задымленности является комплексное использование методов зондирования. В следствии чего, для создания ПО необходимо учитывать использование ультразвукового зондирования, которое будет определять расстояние до ближайших препятствий и обеспечивать высокоточное сканирование пространственных характеристик окружающей среды.

Процесс обработки информации необходимо реализовать в виде последовательного алгоритма, включающего разбиение пространства на

полигоны, фильтрацию некорректных значений и выделение границ препятствий [5]. Общая логика работы ПО представлена на рис. 3.

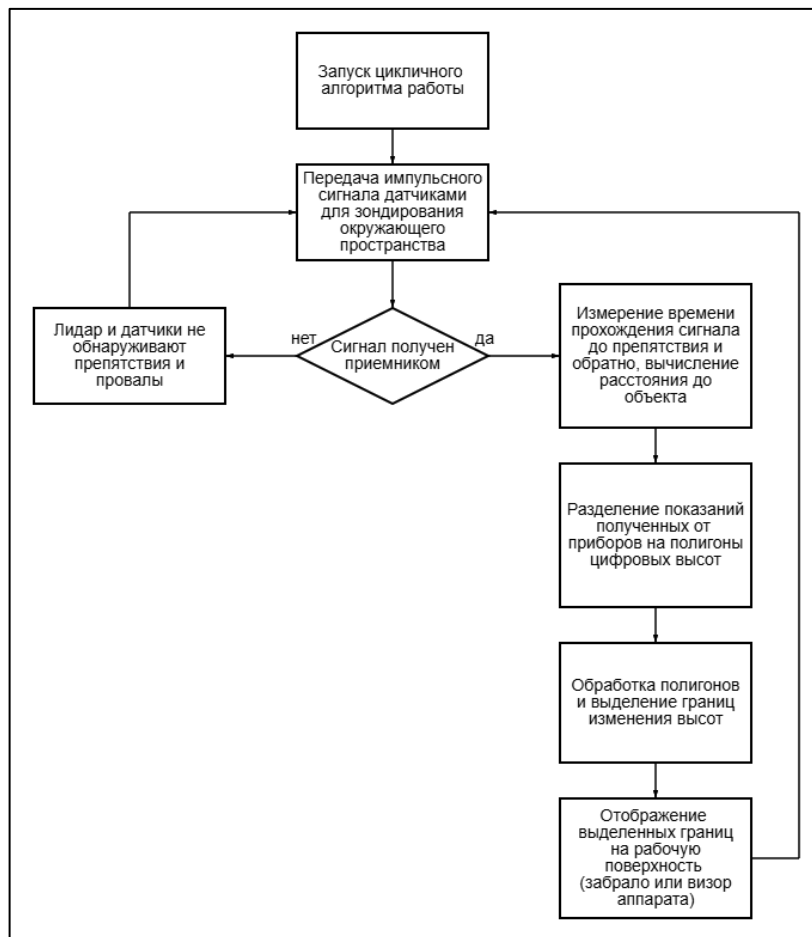


Рис. 3. – Алгоритм задуманного функционирования зондирующего устройства

### Принцип сбора данных

В условиях плотного задымления, ПО необходимо фильтровать ложные данные. Один из распространённых подходов — применение калмановской фильтрации [6], что позволяет сглаживать шумовые колебания при сохранении высокой скорости отклика системы.

Основу ПО системы позиционирования составляет точный расчет расстояний до объектов по времени прохождения ультразвукового сигнала. Зная скорость звука в воздухе и время полета звука до препятствия, мы можем рассчитать пройденное звуком расстояние по формуле:

$$S = V * t, \quad (1)$$

где  $V$  – скорость звука в м/с;  $t$  – время в секундах

Обработку данных необходимо производить в строгой последовательности. Системе сначала необходимо регистрировать "сырые" показания сенсоров, затем проводить их нормализацию, устраняя явные выбросы. После этого включается калмановский фильтр [7-9], который сглаживает данные и подготавливает их для точного расчета расстояний, а также перепады уровней. Полученные данные представляются для ПО в виде карты полигонов высот, где каждый элемент соответствует определенному участку пространства с указанием его геометрических параметров. Прием данных ПО от ультразвукового зондирования представлены на рис.4.

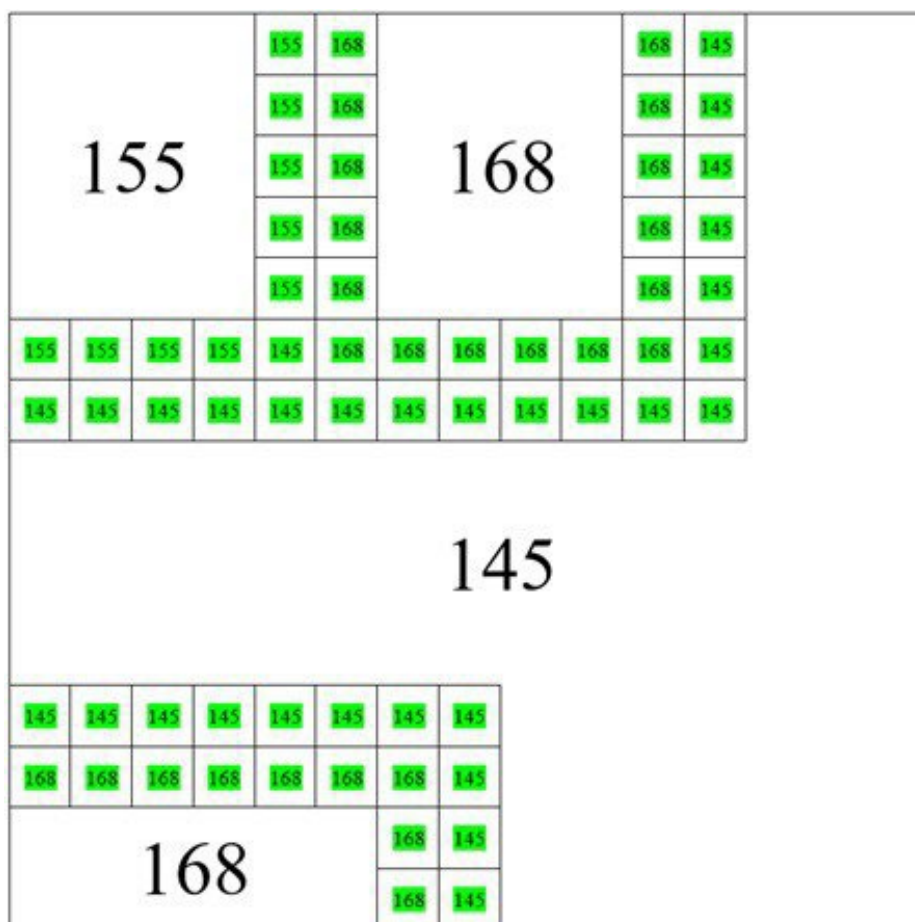


Рис. 4. – Получение данных пространственной обстановки ПО

## Визуализация пространственных данных

Для легкого восприятия информации в условиях ограниченной видимости, ПО необходимо визуализировать пространственные данные в трехмерное графическое представление, формируемую на основе обработанных данных от ультразвуковых сенсоров.

Основу визуализации составляет полигональная сетка, формируемая триангуляцией точечного облака данных [10,11]. Этот метод обеспечивает оптимальное разбиение пространства на треугольные полигоны, сохраняя топологические свойства среды.

Принцип адаптивной прозрачности реализуется через алгоритмическое управление параметром альфа-канала в зависимости от расстояния до объекта. Удаленные элементы (более 5 метров) отображаются с прозрачностью 70-80%, в то время как ближние препятствия (менее 1 метра) визуализируются с прозрачностью 10-20% и усиленными контурами.

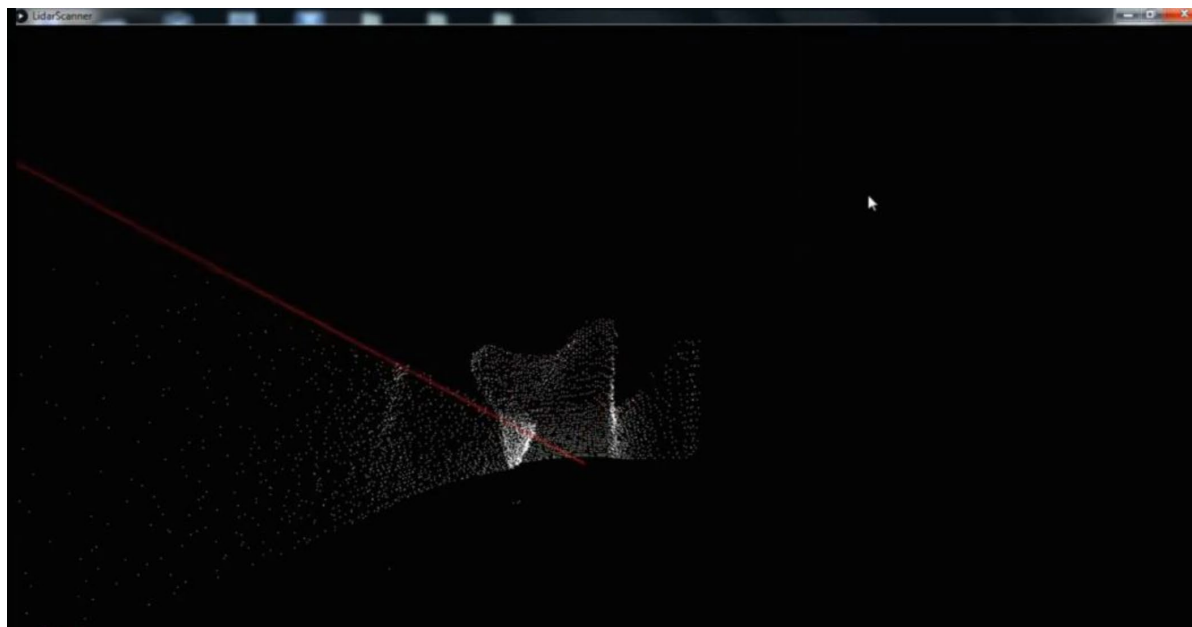


Рис.5. – Пример визуализации данных с помощью триангуляции

## Интерфейс программного обеспечения

Интерфейс ПО представляет собой компонент системы, обеспечивающий визуальную интерпретацию поступающих данных. Интерфейс необходим в виде единого экрана с выводящей на него пространственной модели, а также информации об окружающей среде.

После активации устройства кнопкой питания система иницирует процесс калибровки. Оператору необходимо плавно повернуть голову по двум осям (наклоны вперед-назад, повороты влево-вправо), что позволяет системе точно определить пространственную ориентацию и создать точку отсчета для последующих измерений.

Основной интерфейс необходимо реализовать в виде проекции на визор дыхательного аппарата, где в режиме реального времени отображается:

1. Трехмерная карта помещения созданная с помощью триангуляции;
2. Текущие показатели температуры окружающей среды;
3. Уровень влажности воздуха;
4. Заряд аккумулятора устройства.

Особое внимание уделено простоте интерфейса: управление системой происходит полностью автоматически, интерфейс не требует вмешательства со стороны пользователя. Это позволяет сосредоточиться на выполнении основной задачи при проведении аварийно-спасательных работ.

Для упрощения коллективной работы, необходимо реализовать функцию коллективного сбора данных. Когда командир звена движется вперед, его устройство непрерывно сканирует окружающее пространство, а полученная информация в автоматическом режиме передается на устройства других членов звена. Это обеспечит синхронизированное отображение актуальной обстановки у всех газодымозащитников.

## Заключение

В статье рассмотрены ключевые аспекты архитектуры ПО, принципы его функционирования и методы, обеспечивающие построение пространственной модели. Последовательность этапов обработки данных и логика работы системы представлены на блок-схеме (рис.6).



Рис. 6. - Логическая схема модулей работы ПО

Предложенные методы создания ПО для восстановления видимости звена ГДЗС при плотной задымленности могут быть адаптированы для интеграции в существующие технические средства пространственного ориентирования и разведки.

В перспективе данные подходы могут быть расширены за счёт включения адаптивных методов машинного обучения, что обеспечит более точную классификацию объектов и предсказание поведения среды в условиях ограниченной видимости.

Таким образом, созданное ПО демонстрирует высокую прикладную значимость и создают научно-техническую основу для дальнейшего развития ориентирования звена ГДЗС в условиях плотного задымления.

### Литература

1. Коршунов, И. В., Смагин А.В., Тербнев В.В. О тактических возможностях звеньев газодымозащитной службы при работе в сложных условиях // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2023. – № 2. – С. 66-72. – DOI: 10.25257/FE.2023.2.66-72. – EDN SBRYPE.

2. Коршунов И. В., Смагин А. В., Андреев Д. В. К вопросу обеспечения безопасности звена газодымозащитной службы, работающего на пожаре в сложных условиях // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: Материалы VIII Международной научно-практической конференции, в 2 ч., Москва, 17-18 марта 2022 г. Часть 1. М.: Академия ГПС МЧС России, 2022. С. 88-93.

3. Коршунов И. В., Смагин А. В., Хачиров А. В., Кузовков И. М. К вопросу ориентирования звена газодымозащитной службы при выполнении работ в сложных условиях // Материалы XII международная научно-практическая конференция молодых учёных и специалистов "Проблемы техносферной безопасности - 2023". М.: Академия ГПС МЧС России, С. 153-155.

4. Яровой В. Ю. О необходимости уточнения параметров производительности звеньев газодымозащитной службы при проведении разведки в задымленной среде для пожарно-тактического расчета // Молодые ученые в решении актуальных проблем безопасности: Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции, Железнодорожск, 24 мая 2024 года, 2024. – С. 417-419. – EDN USWOZY.

5. Яровой В. Ю. Комплексные методы зондирования для восстановления видимости и поддержки принятия решений в задымленном пространстве // Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений

и чрезвычайных ситуаций : Материалы научно-практической конференции, Красноярск, 24–26 октября 2024 года. – Железногорск: Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС РФ, 2025. – С. 50-52. – EDN OGXMOG.

6. Лемешко О. В. Фильтр калмана. Теоретические основы и практическое применение // Вестник магистратуры. 2014. №6-1 (33). URL: [cyberleninka.ru/article/n/filtr-kalmana-teoreticheskie-osnovy-i-prakticheskoe-primenenie](http://cyberleninka.ru/article/n/filtr-kalmana-teoreticheskie-osnovy-i-prakticheskoe-primenenie).

7. Аджиева, А. А., Машуков И.Х., Шаповалов В.А. Использование фильтра Калмана в обработке данных хода напряженности электрического поля атмосферы // Инженерный вестник Дона, 2017, № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4255](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4255)

8. Kalman R. E. A new approach to linear filtering and prediction problems. Transactions of the ASME, Ser. D // Journal of Basic Engineering. 1960 № 82. P. 34-45.

9. Caruso M. J. Applications of magnetoresistive sensors in navigation systems // SAE Trans. 1997. № 106. pp. 1092-1098.

10. Замятин А. В., Замятина Е.А. Алгоритм построения развертки поверхностей // Инженерный вестник Дона, 2012, № 4-2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1233](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1233)

11. Delaunay B. Sur la sphere vide. A la memoire de Georges Voronoï // Изв. АН СССР, 1934. № 6. pp. 793–800.

### References

1. Korshunov I. V., Smagin A. V., Terebnev V. V. Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashhenie, likvidacija. 2023 № 2. pp. 66–72. DOI: 10.25257/FE.2023.2.66-72. EDN SBRYPE.

2. Korshunov I. V., Smagin A. V., Andreev D. V. Pozharotushenie: problemy, tehnologii, innovacii. Materialy VIII Mezhdunarodnoj nauchno-

prakticheskoy konferencii v 2 ch. Moskva 17–18 marta 2022 g. Chast 1. M. Akademiya GPS MChS Rossii 2022. pp. 88–93.

3. Korshunov I. V., Smagin A. V., Hachirov A. V., Kuzovkov I. M. Materialy XII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya molodyh uchjonyh i specialistov Problemy tehnosfernoj bezopasnosti 2023. M. Akademiya GPS MChS Rossii. pp. 153–155.

4. Jarovoj V. Ju. Molodye uchenye v reshenii aktualnyh problem bezopasnosti. Materialy VI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii Zheleznogorsk 24 maja 2024 goda. Zheleznogorsk FGBU VO Sibirskaja pozharno-spasatel'naja akademiya GPS MChS Rossii 2024. pp. 417–419. EDN USWOZY.

5. Jarovoj V. Ju. Monitoring modelirovanie i prognozirovanie opasnyh prirodnyh javlenij i chrezvychajnyh situacij. Materialy nauchno-prakticheskoy konferencii Krasnojarsk 24–26 oktjabrja 2024 goda. Zheleznogorsk Sibirskaja pozharno-spasatel'naja akademiya GPS MChS RF 2025. pp. 50–52. EDN OGXMOG.

6. Lemeshko O. V. Vestnik magistratury. 2014 № 6-1 (33). URL: [cyberleninka.ru/article/n/filtr-kalmana-teoreticheskie-osnovy-i-prakticheskoe-primenenie](http://cyberleninka.ru/article/n/filtr-kalmana-teoreticheskie-osnovy-i-prakticheskoe-primenenie).

7. Adzhieva A. A., Mashukov I. H., Shapovalov V. A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017, № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4255](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4255).

8. Kalman R. E. Journal of Basic Engineering. 1960 № 82 p. 34–45.

9. Caruso M. J. SAE Transactions. 1997 № 106 p. 1092–1098.

10. Zamjatin A. V., Zamjatina E. A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, № 4-2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1233](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1233)

11. Delaunay B. Izv. AN SSSR. 1934 № 6. pp. 793–800.

**Дата поступления: 7.06.2025**

**Дата публикации: 25.07.2025**