

УДК 656.085.5

igps19@mail.ru

**ДИАГНОСТИКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЯ ПОЖАРНОГО РИСКА  
ПРИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ****DIAGNOSTICS AND FORECASTING OF FIRE RISK LEVEL IN RAILWAY  
TRANSPORTATION OF DANGEROUS GOODS**

*Леонтьева М. С.,  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России имени Героя Российской  
Федерации генерала армии Е. Н. Зиничева, Санкт-Петербург*

*Leontyeva M.,  
Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia named after the  
Hero of the Russian Federation General of the Army E. N. Zinichev, Saint Petersburg*

В статье затрагивается проблема снижения пожарного риска при перевозках легко-воспламеняющихся веществ и материалов железнодорожным транспортом. Анализируются достоинства и недостатки известных методов и предлагаются новые эффективные подходы к снижению пожарного риска с помощью аппаратно-программного комплекса дистанционного раннего обнаружения признаков и предпосылок возникновения чрезвычайных ситуаций при транспортировке опасных грузов железнодорожным транспортом. Предложена архитектура аппаратно-программного комплекса, обеспечивающего работу системы поддержки принятия решений. Концепция построения мониторинговой системы может быть успешно реализована не только на железнодорожном транспорте, но и на объектах хранения пожаро- и взрывоопасных веществ в морских портах, складах, при их транспортировке по трубопроводам и в других потенциально опасных местах, то есть является универсальной. Установлено, что методы и способы снижения пожарных рисков, основанные на раннем обнаружении признаков и предпосылок к возникновению чрезвычайных ситуаций, наиболее эффективны и экономически рациональны. В работе были использованы теоретико-эмпирические методы, методы теории автоматического управления, методы комплексного анализа и обработки данных о рисках. С целью снижения вероятности возникновения чрезвычайной ситуации разработана система, ядром которой является аппаратно-программный комплекс диагностики и прогнозирования уровня пожарного риска при железнодорожных перевозках опасных грузов. Обоснована необходимость оборудования объектов железнодорожной инфраструктуры, разработанной системой дистанционного оценивания пожарного риска.

*Ключевые слова:* грузоперевозки, пожарный риск, опасные грузы, система мониторинга, мониторинговая система.

The article touches upon the problem of reducing fire risk in the transportation of flammable substances and materials by rail. The advantages and disadvantages of the known methods are analyzed and new effective approaches to reducing fire risk are proposed using a hardware and software complex for remote early detection of signs and prerequisites for emergency situations during the transportation of dangerous goods by rail. The architecture of the hardware and software complex that ensures the operation of the decision support system is proposed. The concept of building a monitoring system can be successfully implemented not only in railway transport, but also at storage facilities for

fire and explosive substances in seaports, warehouses, during their transportation through pipelines and in other potentially dangerous places, that is, it is universal. It has been established that methods and methods of reducing fire risks based on early detection of signs and prerequisites for emergency situations are the most effective and economically rational. Theoretical and empirical methods, methods of the theory of automatic control, methods of complex analysis and processing of risk data were used in the work. In order to reduce the likelihood of an emergency, a system has been developed, the core of which is a hardware and software complex for diagnosing and predicting the level of fire risk during the rail transportation of dangerous goods. The necessity of equipping railway infrastructure facilities with the developed system of remote fire risk assessment is substantiated.

*Keywords:* fire risk, freight transportation, dangerous goods, monitoring system, hardware and software complex.

### **Введение**

Железнодорожные составы в больших объемах перевозят опасные грузы, в том числе легковоспламеняющиеся вещества и материалы [1 – 3]. Их транспортировка сопровождается пожарными рисками. Целью статьи является снижение пожарного риска на основе использования аппаратно-программного комплекса дистанционного раннего обнаружения признаков и предпосылок возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС). Объект исследования – пожарные риски при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов. Для достижения цели исследования была сформулирована следующая научная задача: разработка и совершенствование научно-методического аппарата снижения пожарного риска при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов на основе адаптивной технологии гарантированного предотвращения пожаров.

В связи с участвовавшими случаями возникновения ЧС на грузовых железнодорожных составах [4, 5] возрастает значимость углубленного исследования, оценки и разработки новых системных подходов и механизмов управления безопасностью и устойчивостью функционирования грузового железнодорожного транспорта в условиях ЧС, что подтверждает актуальность проблемы и значимость научных разработок в этом направлении. Рассмотренные

техногенные аварии с участием опасных грузов не только на железнодорожном транспорте, но и в морских портах, складах хранения опасных веществ и материалов подтверждает гипотезу о влиянии факторов средств транспортирования и пожарной опасности самих грузов на вероятность возникновения ЧС [1, 5, 6]. Анализ научных публикаций отечественных и зарубежных учёных свидетельствует о том, что в настоящее время накоплен уже значительный опыт и теоретические основы по исследованию проблемы пожарной опасности грузоперевозок, особенностям возникновения пожаров при перевозке опасных грузов, а также тушению таких пожаров [5, 7], что является ценной базой при разработке системы дистанционного оценивания пожарного риска транспортировки опасных грузов железнодорожным транспортом.

Существенное влияние на вероятность возникновения и распространения пожара, а также его интенсивность оказывают метеоусловия (осадки, влажность, температура воздуха, направление ветра) [8]. Так, например, при транспортировке опасных грузов (легковоспламеняющихся (твердых), самовоспламеняющихся веществ и выделяющих воспламеняющиеся газы при взаимодействии с водой веществ), следует уделять внимание влажности – недостаточная влажность может способствовать самовозгоранию. Степень опасности

таких грузов устанавливают без проведения испытаний: для увлажненных взрывчатых веществ – высокая; для воспламеняющихся от трения – низкая. При контакте с кислородом воздуха некоторые вещества, такие как, например, фосфор желтый способны самовозгораться. Некоторые грузы при взаимодействии с водой могут взрываться. Они являются высокоактивными по отношению к воде. Поэтому при транспортировке их во время дождя или повышенной влажности окружающей среды эти опасные свойства грузов нужно учитывать.

С целью раннего обнаружения первичных признаков и предпосылок возгорания или взрыва посредством функционирования системы дистанционного оценивания пожарного риска транспортируемых железнодорожным транспортом опасных грузов предлагается отслеживать параметры подвижного состава и опасных грузов, при изменении которых до критических значений резко возрастает вероятность возникновения ЧС. Высокая скорость работы датчиков и надежность элементов автоматизированных систем являются необходимыми, но не достаточными условиями для эффективного управления пожарной безопасностью грузовых железнодорожных перевозок. Для обнаружений таких изменений параметров опасного груза, как температура, давление, влажность, концентрация газов и паров, необходимо манипулировать чувствительностью датчика, то есть перестраивать параметры самого датчика. Для корректного функционирования устройств зондирования производится последовательная настройка параметров датчика по информации, поступающей с контрольных пунктов зон мониторинга. При достижении критических

значений параметров опасных грузов, тревожный сигнал поступает в пункт управления безопасностью. Работает система, способная идентифицировать признаки пожароопасного состояния до возникновения горения. Для решения новой задачи по определению вероятности возникновения ЧС используем метод размытой классификации [9].

#### **Модели и методы исследования**

По показателям безопасности движения железнодорожный транспорт занимает третье место после автомобильного и воздушного [4, 6]. Статические данные последних лет свидетельствуют о значительных разрушениях, заражении местности и поражении токсичными веществами людей в результате аварийных ситуаций при транспортировке по железным дорогам опасных грузов. Наиболее отрицательным фактором перевозочного процесса опасных грузов является высокий уровень пожарного риска.

Управление пожарными рисками в ОАО «РЖД» регулируется через стандарты предприятия. Они основаны на нормативных актах Российской Федерации и процедурах управления пожарной безопасностью на объектах железнодорожного транспорта с учётом их специфики. По отношению к грузоотправителям правила перевозки опасных грузов предусматривают наличие официальных актов, подтверждающих принадлежность опасного груза к определённому номеру классификации и комплексного информационного и организационно-методического документа (аварийная карточка), расшифровки кодов (рис. 1).

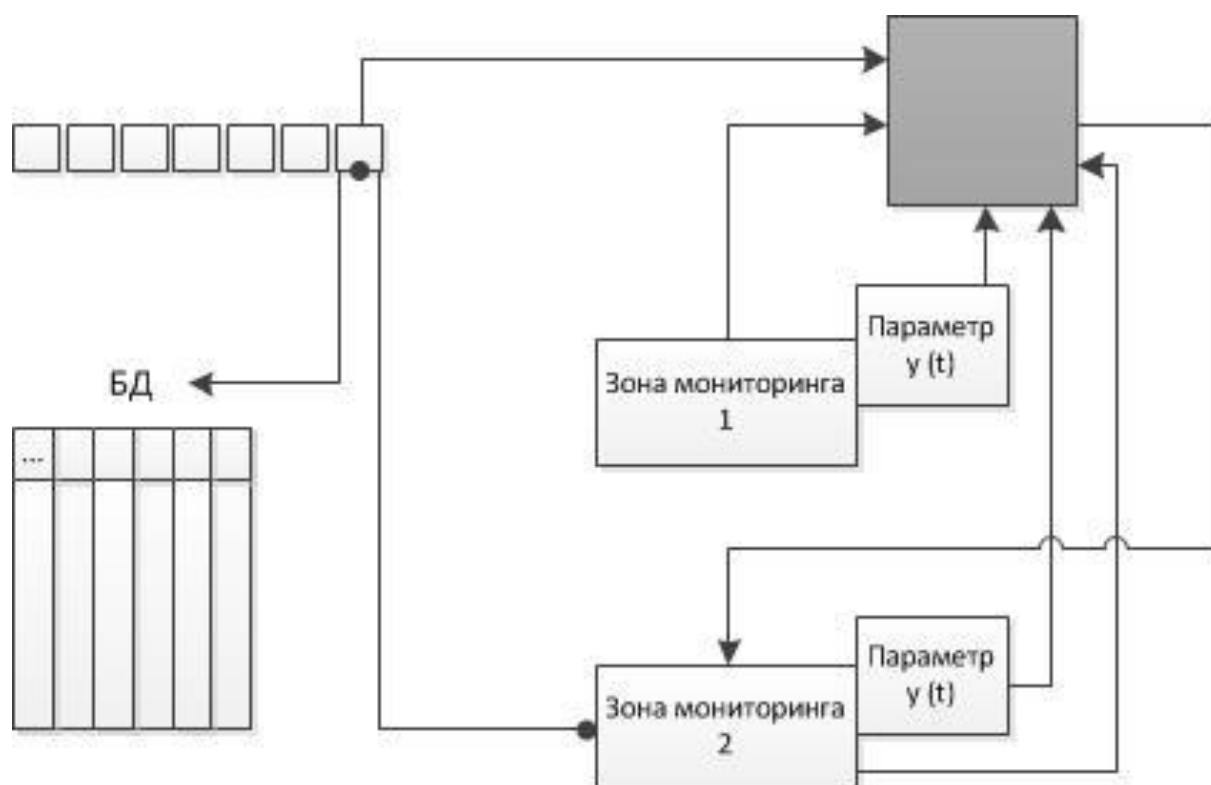


Рисунок 1. Алгоритм манипулирования комбинированными датчиками

В ходе исследования был проведен углубленный анализ и поиск методов и возможностей снижения рисков ЧС на железнодорожном транспорте при перевозке опасных грузов [10, 11]. Было установлено, что к наиболее эффективным и экономически рациональным методам снижения пожарных рисков могут быть отнесены методы и способы, основанные на раннем обнаружении признаков и предпосылок к возникновению ЧС [12, 13]. Для обоснования данного утверждения были использованы теоретико-эмпирические методы и методы комплексного анализа и обработки известных статистических данных о рисках при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов.

Неотъемлемой частью совершенствования научно-методического аппарата и обоснования применения аппаратно-программного комплекса диагностики и прогнозирования уровня пожарного риска при железнодорожных перевозках опасных грузов (АПКДП ПР) является методика снижения пожарного риска при железнодорожных перевозках опасных грузов [5,

11]. Предлагаемая методика состоит из следующих основных этапов:

1. На сортировочной станции формируется железнодорожный состав с вагонами, заполненными опасными грузами.

2. Происходит сбор информации об опасных грузах, в том числе о легковоспламеняющихся веществах и материалах, перевозимых железнодорожным составом. На этом этапе проводится также сбор и анализ (с использованием баз данных) пожароопасных характеристик грузов.

3. Происходит сбор информации о типе и технических характеристиках железнодорожных вагонов, в которых размещаются опасные легковоспламеняющиеся грузы с помощью сканирования идентификационных кодов, расположенных на вагонах.

4. Осуществляется сбор информации о маршруте следования грузового железнодорожного состава и пунктах назначения отдельных вагонов с опасными легковоспламеняющимися грузами (определяются группы вагонов, например, вагоны № 001-005 следуют до пункта «А», вагоны № 006-015 следуют до пункта «Б» и т. д.).

5. Формируется цифровая база данных (ЦБД) о маршруте следования железнодорожного состава, номерах, типах и пунктах назначения отдельных вагонов с опасными легковоспламеняющимися грузами, типах опасных легковоспламеняющихся грузов и их количестве в соответствующих вагонах. Происходит сохранение ЦБД в памяти бортового компьютера локомотивной бригады (для оперативного реагирования и получения информации о составе и грузах) и отправка её копии в центр обработки данных и принятия решений оператора перевозок (ЦОДПР ОП).

6. На пункте предварительного контроля (ППК) происходит дистанционная идентификация параметров железнодорожного состава. Отправляется сигнал активации выборки базы данных в ЦОДПР ОП. Происходит активация системы контроля параметров подвижного состава и системы контроля метеорологических параметров. После чего осуществляется дистанционная идентификация и контроль технического состояния вагонов с опасными легковоспламеняющимися грузами.

7. Результаты дистанционного контроля технического состояния вагонов с опасными легковоспламеняющимися грузами и результаты контроля метеорологических параметров отправляются в ЦОДПР ОП. Формируется и отправляется сигнал активации системы контроля параметров пожарной опасности грузов на пункт основного контроля (ПОК).

8. В ЦОДПР ОП принимают сигнал активации и выборки информации базы данных о типах вагонов и типах опасных легковоспламеняющихся грузов в них для идентифицированного железнодорожного состава. Происходит прием информации с ППК с результатами дистанционного контроля технического состояния вагонов с опасными легковоспламеняющимися грузами и результатов контроля метеорологических параметров на пути следования железнодорожного состава.

9. Осуществляется совместная обработка информации с результатами дистанционного контроля технического состояния вагонов с опасными легковоспламеняющимися грузами, результатами метеорологического контроля на пути следования железнодорожного состава и информации о типе и пожарной опасности перевозимых в соответствующих вагонах опасных грузов. Формируется по результатам обработки информации блок управляющих сигналов для конфигурирования и настройки рабочих параметров датчиков раннего распознавания опасных факторов пожара индивидуально для каждого вагона с опасным легковоспламеняющимся грузом.

10. В ПОК происходит активация системы дистанционного контроля параметров пожарной опасности грузов в железнодорожном составе. Прием от ЦОДПР ОП блока управляющих сигналов для конфигурирования и настройки рабочих параметров датчиков раннего распознавания опасных факторов пожара индивидуально для каждого вагона с опасным легковоспламеняющимся грузом. Осуществляется дистанционный контроль и сохранение информации в памяти системы дистанционного контроля параметров пожарной опасности грузов об уровне зафиксированных опасных факторов пожара для соответствующих вагонов.

11. Происходит передача сведений об уровнях зафиксированных опасных факторов пожара для соответствующих вагонов в ЦОДПР ОП. Начинается совместная обработка информации об уровнях зафиксированных опасных факторов пожара для соответствующих вагонов с результатами дистанционного контроля технического состояния данных вагонов, результатами метеорологического контроля на пути следования железнодорожного состава и информации о типе и пожарной опасности перевозимых в соответствующих вагонах опасных грузов. Происходит формирование и сохранение результатов обработки данных. На этом этапе происходит определение и присвоение уровня

опасности ЧС каждому вагону, выводится алгоритм дальнейших действий (рис. 2);  $\mu_1$  – уровень опасности ЧС низкий, возможно дальнейшее движение без ограничений,  $\mu_1 \in [0 - 0,5]$ ;  $\mu_2$  – уровень опасности ЧС средний, необходим контроль состояния груза на ближайшей остановке по маршруту следования состава,  $\mu_2 \in [0,5-0,85]$ ;  $\mu_3$  – уровень опасности ЧС высокий, необходимо направить состав на запасные пути в

безопасное место для немедленного контроля состояния груза)  $\mu_3 \in [0,85-1]$ . Математическую основу для принятия решения о принадлежности объекта и складывающейся ситуации к какому-либо классу опасности составили методы размытой классификации, позволяющие структурировать информацию об объектах с учётом нечеткости исходных данных.

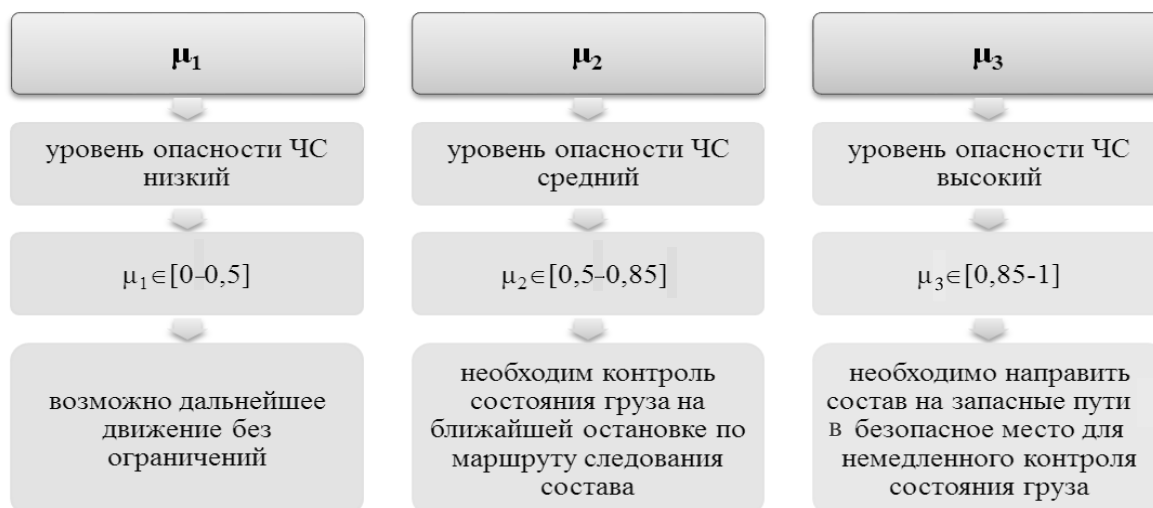


Рисунок 2. Классификация уровней опасности ЧС

Приведенная методика снижения пожарного риска при железнодорожных перевозках опасных грузов может быть реализована на основе системы поддержки

принятия решений, структурная схема которой изображена на рис. 3.

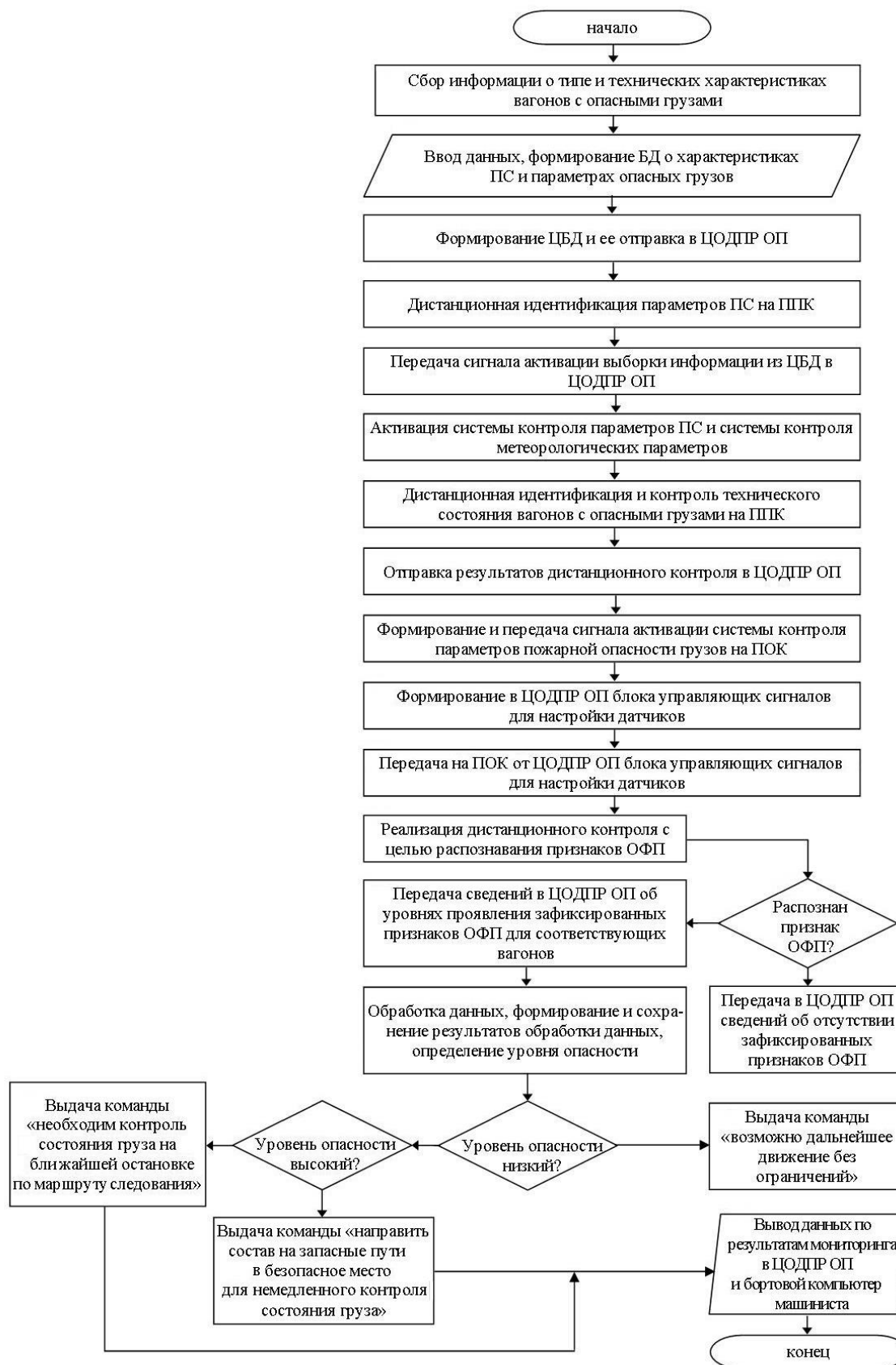


Рисунок 3. Схема алгоритма функционирования системы поддержки принятия решений

### Результаты исследования и их обсуждение

Структурно-функциональная схема аппаратно-программного комплекса диа-

гностики и прогнозирования уровня пожарного риска при железнодорожных перевозках опасных грузов (АПКДП ПР) представлена на рис. 4.

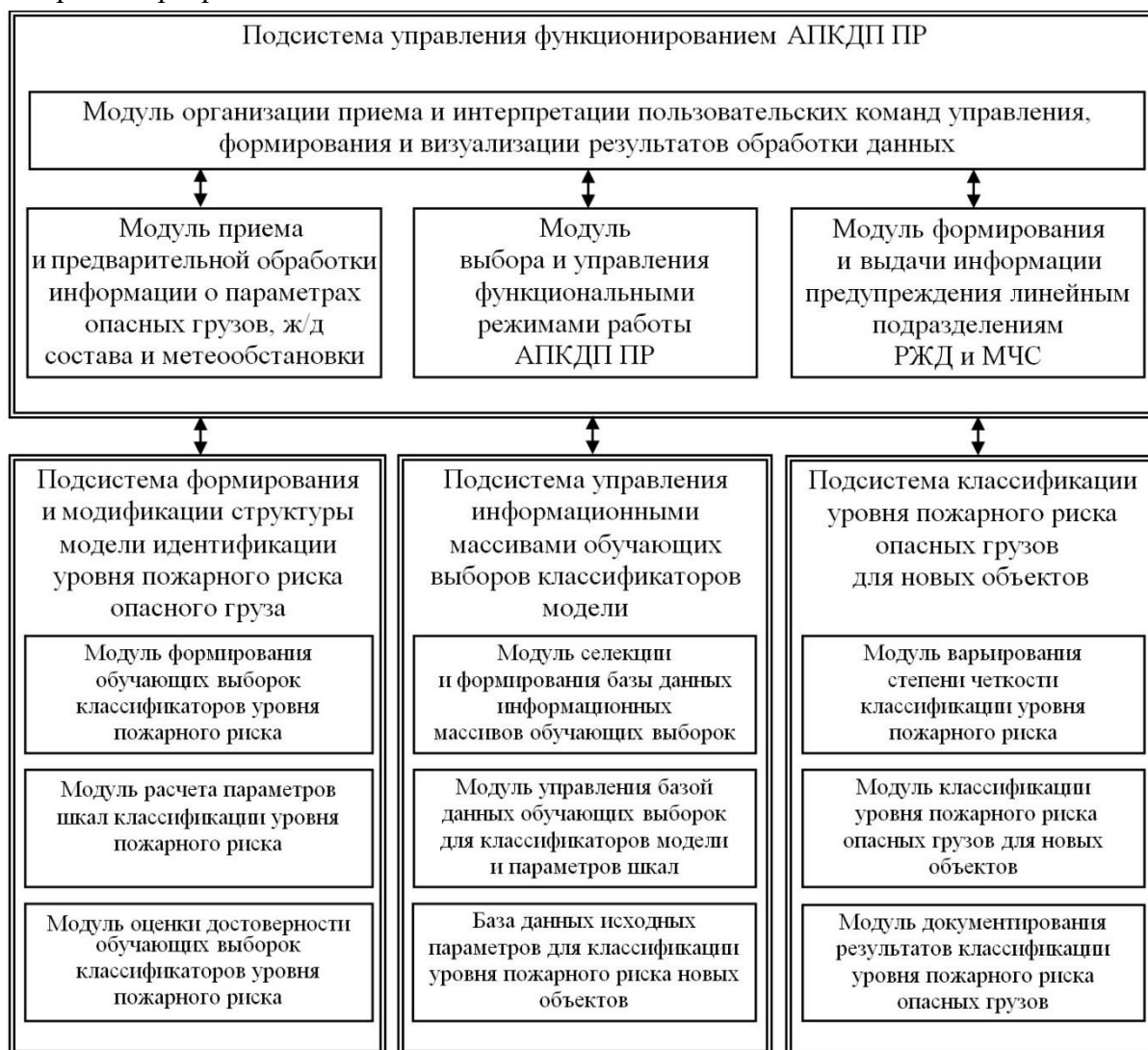


Рисунок 4. Структурная схема АПКДП ПР

Аппаратно-программный комплекс имеет открытую масштабируемую модульную структуру, позволяющую достаточно легко и оперативно вносить в нее необходимые изменения путем добавления новых модулей или корректировки имеющихся. Функционально законченные процедуры обработки данных в АПКДП ПР реализуются совокупностями модулей, объединенных в соответствующие подсистемы. В результате обработки данных система выдает значения функций принадлежности к событиям, позволяющим определить степень

возможного пожарного риска при транспортировке опасных грузов; определяются нечеткие оценки степеней принадлежности пожарного риска  $\mu(W)$  к одному из классов опасности: высокий, средний, низкий.

При высоком показателе пожарного риска  $\mu_3$  требуются оперативные действия в отношении грузового состава – немедленная остановка и принятие мер по недопущению развития ЧС, привлечение пожарной охраны.



При среднем показателе пожарного риска  $\mu_2$  допустимо следовать до ближайшей остановки, с уменьшенной скоростью либо съезжать на запасной путь и обследовать грузовой состав в месте, где фиксируется тревожный сигнал, при необходимости привлечь пожарную охрану.

Низкий показатель пожарного риска  $\mu_1$  свидетельствует о благоприятной обстановке и позволяет следовать грузовому составу по установленному маршруту с принятой скоростью движения.

Предложенный алгоритм и его реализация возможна только на основе аппаратно-программного комплекса системы поддержки принятия решений [14]. В рамках исследования были программно реализованы основные компоненты структурно-функциональной схемы АПКДП ПР. Анализ функционирования разработанной системы показал, что предлагаемая система способна корректно решать стоящие перед ней задачи.

### Заключение

Разработанная структура автоматизированной системы и реализованная на ее основе многоуровневая иерархическая модель позволяют проводить анализ степени влияния внутренних и внешних факторов, представленных в нечеткой расплывчатой форме на уровень ЧС в условиях динамического изменения параметров среды их функционирования.

Транспортировка опасных грузов всегда сопровождается рисками возникновения пожаров, взрывов, крушениями и авариями грузовых поездов при их погрузке и в процессе следования по маршруту.

Проведенное с помощью аппаратно-программного прототипа предлагаемой автоматизированной системы моделирование наиболее вероятных сценариев возникновения и развития чрезвычайных ситуаций при транспортировке типовых опасных грузов и сравнение полученных результатов со статистическими данными показало, что основные компоненты системы, алгоритмы их функционирования и взаимодействия между собой способны обеспечить с приемлемой достоверностью решение задачи по поддержке принятия решений о степени пожарного рисков при железнодорожной транспортировке опасных грузов. Предложена новая архитектура построения аппаратно-программного комплекса.

В целом, полученные результаты, позволяют утверждать, что целевое использование предлагаемой автоматизированной системы будет способствовать повышению эффективности и достоверности оценивания и прогнозирования изменения уровня пожарного риска при железнодорожной транспортировке опасных грузов и снижению пожарной опасности грузоперевозок.

### Литература

1. Shterev D. Safety problems in maritime transport of cargoes which are able to liquefy // *Trans Motauto World*. 2021. Vol. 6. No. 1. Pp. 27–29.
2. Michael Y. Forecasting fire risk with machine learning and dynamic information derived from satellite vegetation index time-series // *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 764. P. 142.
3. Shin S. Risk-based underground pipeline safety management considering corrosion effect // *Journal of hazardous materials*. 2018. Pp. 279–289.
4. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: стат. сб. Балашиха, 2022. 114 с.
5. Леонтьева М. С., Актерский Ю. Е. Анализ комплексной проблемы и основных факторов пожарного риска при перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов железнодорожным транспортом // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2022. № 1 (61). С. 108–116.
6. Анардович С. С., Руш Е. А. Оценка ущербов от чрезвычайных ситуаций техногенного характера на железнодорожном транспорте // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. 2020. № 2 (66). С. 121–128.
7. Королева Л. А. Концептуальные основы обеспечения пожарной безопасности при железнодорожных перевозках опасных грузов: дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2019. 423 с.

8. Ludvigsen J., Klaboe R. Extreme weather impacts on freight railways in Europe // *Natural hazards*. 2014. Vol. 70. No. 1. Pp. 767–787.
9. Фалеев М. И. Программно-целевой метод решения проблем снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций // *Управление рисками чрезвычайных ситуаций*. 2001. С. 26–34.
10. Леонтьева М. С. Основные ресурсы и механизмы снижения пожарного риска железнодорожных перевозок опасных грузов // *Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации*. 2022. С. 326–331.
11. Леонтьева М. С., Актерский Ю. Е. Система мониторинга факторов пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов // *ОБЖ: Основы безопасности жизни*. 2022. № 1. С. 60–64.
12. Шаровар Ф. И. Пожаропредупредительная автоматика. Теория и практика предотвращения пожаров от маломощных загораний. М., 2013. 555 с.
13. Патент № 2601924 Российская Федерация, МПК А62С 2/00 (2006.01). Способ гарантированного предотвращения пожаров от маломощных загораний и система автоматика для его реализации: № 2014146241/12: заявл. 18.11.2014; опубл. 10.06.2016 / Арутюнян Д. М., Шаровар Ф. И. 4 с.
14. Бадалян Н. П. Аппаратный комплекс для информационной системы поддержки принятия стандартных управленческих решений // *Вестник Национального политехнического университета Армении. Электротехника, энергетика*. 2018. № 1. С. 32–45.

### References

1. Shterev D. Safety problems in maritime transport of cargoes which are able to liquefy // *Trans Motauto World*. 2021. Vol. 6. No. 1. Pp. 27–29.
2. Michael Y. Forecasting fire risk with machine learning and dynamic information derived from satellite vegetation index time-series // *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 764. P. 142.
3. Shin S. Risk-based underground pipeline safety management considering corrosion effect // *Journal of hazardous materials*. 2018. Pp. 279–289.
4. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2021 godu: stat. sb. Balashiha, 2022. 114 s.
5. Leont'eva M. S., Akterskij YU. E. Analiz kompleksnoj problemy i osnovnyh faktorov pozharnogo riska pri perevozkah legkovosplamenyayushchihsya veshchestv i materialov zheleznodorozhnym transportom // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2022. № 1 (61). S. 108–116.
6. Anardovich S. S., Rush E. A. Ocenka ushcherbov ot chrezvychajnyh situacij tekhnogenogo haraktera na zheleznodorozhnom transporte // *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie*. 2020. № 2 (66). S. 121–128.
7. Koroleva L. A. Konceptual'nye osnovy obespecheniya pozharnoj bezopasnosti pri zheleznodorozhnyh perevozkah opasnyh грузов: dis. ... d-ra tekhn. nauk. SPb., 2019. 423 s.
8. Ludvigsen J., Klaboe R. Extreme weather impacts on freight railways in Europe // *Natural hazards*. 2014. Vol. 70. No. 1. Pp. 767–787.
9. Faleev M. I. Programmno-celevoj metod resheniya problem snizheniya riskov i smyagcheniya posledstvij chrezvychajnyh situacij // *Upravlenie riskami chrezvychajnyh situacij*. 2001. S. 26–34.
10. Leont'eva M. S. Osnovnye resursy i mekhanizmy snizheniya pozharnogo riska zheleznodorozhnyh perevozkop opasnyh грузов // *Pozharotushenie: problemy, tekhnologii, innovacii*. 2022. S. 326–331.
11. Leont'eva M. S., Akterskij YU. E. Sistema monitoringa faktorov pozharnoj opasnosti pri zheleznodorozhnyh perevozkah opasnyh грузов // *OBZH: Osnovy bezopasnosti zhizni*. 2022. № 1. S. 60–64.
12. Sharovar F. I. Pozharopredupreditel'naya avtomatika. Teoriya i praktika predotvrashcheniya pozharov ot malomoshchnyh zagoranj. M., 2013. 555 s.
13. Патент № 2601924 Rossijskaya Federaciya, МПК А62С 2/00 (2006.01). Способ гарантированного предотвращения пожаров от маломощных загораний и система автоматика для его реализации: № 2014146241/12: заявл. 18.11.2014; опубл. 10.06.2016 / Арутюнян Д. М., Шаровар Ф. И. 4 с.
14. Badalyan N. P. Apparatnyj kompleks dlya informacionnoj sistemy podderzhki prinyatiya standartnyh upravlencheskih reshenij // *Vestnik Nacional'nogo politekhnicheskogo universiteta Armenii. Elektrotehnika, energetika*. 2018. № 1. S. 32–45.