

ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Научная статья

УДК 656.085.5; DOI: 10.61260/1998-8990-2025-1-226-237

МЕТОДИКА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОЖАРОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ, УТИЛИЗАЦИИ И РЕМОНТЕ КРУПНОТОННАЖНЫХ СУДОВ

✉ Мотыженкова Марина Георгиевна.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ marina_botova@mail.ru

Аннотация. Рассматривается вопрос предотвращения возгораний на этапах строительства, утилизации и ремонтно-восстановительных работ на крупнотоннажных судах. Разработана методика предотвращения пожаров на основе адаптивной системы раннего обнаружения возгораний и системы прогнозирования. Приведен алгоритм работы системы предотвращения пожаров, который включает в себя 15 этапов. В основу методики включена модель для мониторинга и прогнозирования на базисе классификаторов первого и второго уровня, которые решают задачи определения уровня пожарной опасности выполняемых технологических процессов, уровня влияния характеристик пожарной нагрузки на судне, характеристик внешней среды с учетом влияния текущего времени, дня недели и месяца. Данная модель на основе входных параметров объекта строительства, утилизации или реконструкции определяет степень влияния данных характеристик на уровень пожарной опасности всего объекта. На основе исследования было выявлено восемь основных классификаторов первого уровня, влияющих на уровень пожарной опасности объекта. Сложность данной методики заключается в том, что объект строительства, утилизации и реконструкции – это динамически изменяющаяся система с непостоянным набором входных параметров и постоянно изменяющихся геометрических размеров. Данная методика учитывает все изменения и набор входных параметров на начало рабочей смены и выдает результирующее значение уровня пожарной опасности в каждую единицу времени.

Ключевые слова: крупнотоннажные корабли, методика предотвращения пожаров, возгорание, пожар, детектирование возгораний, ремонт кораблей, пожарная опасность

Для цитирования: Мотыженкова М.Г. Методика предотвращения пожаров при строительстве, утилизации и ремонте крупнотоннажных судов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2025. № 1 (73). С. 226–237. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-1-226-237.

Scientific article

METHODOLOGY OF FIRE PREVENTION DURING CONSTRUCTION, UTILIZATION AND REPAIR OF LARGE-CAPACITY VESSELS

✉ Motyzenkova Marina G.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ marina_botova@mail.ru

Abstract. The article deals with the issue of fire prevention at the stages of construction, utilization and repair and recovery operations on large-capacity surface and submarine vessels. A fire prevention methodology based on an adaptive early fire detection system and a prediction system was developed. The algorithm of the fire prevention system operation was given, which includes 15 stages. The fire prevention methodology is based on a model for monitoring and forecasting on the basis of the first and second level classifiers, which solve the problems of determining the level of fire danger of the technological processes performed, the level of influence of the characteristics of fire load on the ship, the characteristics of the external environment, taking into account the influence of the current time, day of the week and month. This model on the basis of input parameters of the object of construction, utilization or reconstruction determines the level of influence of these characteristics on the level of fire danger of the whole object. Based on the study, 8 main first level classifiers influencing the level of fire danger of the object were identified. The complexity of this methodology is that the object of construction, utilization and reconstruction is a dynamically changing system with an inconstant set of input parameters and constantly changing geometric dimensions. This methodology takes into account all changes and a set of input parameters at the beginning of the working day and gives the resulting value of the fire danger level at each unit of time.

Keywords: large-capacity vessels, fire prevention methodology, ignition, fire, fire detection, ship repair, fire hazard

For citation: Motyzenkova M.G. Methodology of fire prevention during construction, utilization and repair of large-capacity vessels // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2025. № 1 (73). P. 226–237. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-1-226-237.

Введение

Строительство, утилизация и ремонтно-восстановительные работы на судах надводного и подводного плавания сопряжены с повышенной пожарной опасностью из-за одновременного выполнения множества огневых и огнеопасных работ при наличии большой пожарной нагрузки. Причинами возникновения пожаров являются: разлеты искр, перегретые поверхности (открытое пламя, огневые работы), повышенная взрывоопасная концентрация и высокая пожароопасность применяемых веществ и материалов (окрасочные и изоляционные работы, обезжиривание и смазка), высокий уровень задымленности, повышенные температуры производства работ, горючие отходы производства, горючая оснастка, неисправные электроустановки и оборудование, систематические нарушения техники безопасности.

Для расчета и прогнозирования уровня пожарной опасности в условиях динамичного изменения конструктивных характеристик судна в пространстве и времени необходимо определить критерии их негативного влияния на уровень пожарной опасности при строительстве, утилизации и проведении ремонтно-восстановительных работ, а также разработать методику снижения пожарной опасности на основе современных цифровых адаптивных технологий.

Методы исследования

Согласно сведениям из карточек учета пожаров, произошедших в Российской Федерации в 2001–2020 гг., на предприятиях судостроения и судоремонта на морских, речных судах было зафиксировано 318 возгораний (рис. 1).



Рис. 1. Количество возгораний в судостроительной, судоремонтной отраслях в период 2001–2020 гг.

Основными причинами возгораний являются: нарушение правил и технологии производства электросварочных и газорезательных работ; нарушение правил эксплуатации электросетей и электрооборудования; неосторожное обращение с огнем; нарушение технологических процессов строительных и монтажных работ (рис. 2) [1].

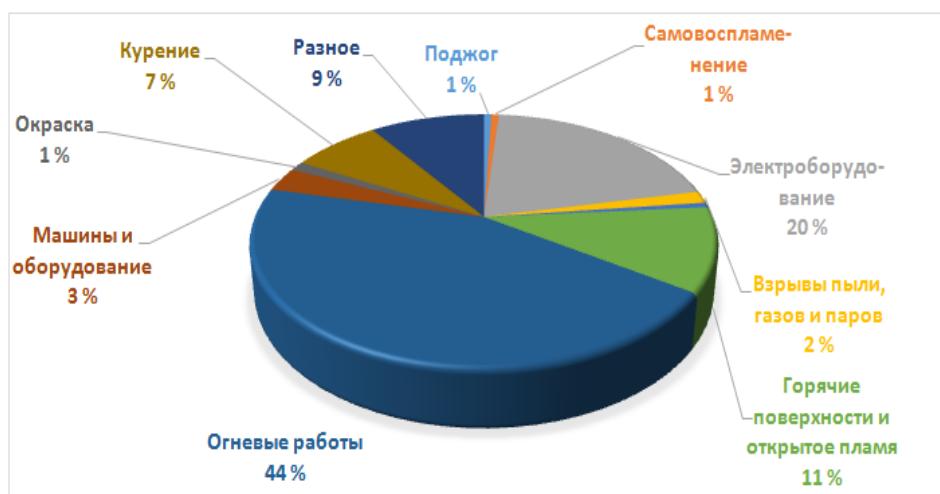


Рис. 2. Диаграмма процентного соотношения причин возгорания при строительстве, утилизации и проведении ремонтно-восстановительных работ на судах

Современные технологии строительства, утилизации и ремонтно-восстановительных работ на судах характеризуются высоким уровнем пожарной опасности вследствие совмещения различных огневых и огнеопасных процессов с большим количеством пожарной нагрузки, в том числе, легковоспламеняющимися горючими жидкостями и газами, а также дополнительного воздействия со стороны внешних факторов окружающей среды и нарушения техники безопасности (рис. 3) [2].



Рис. 3. Диаграмма процентного соотношения источников возгорания при строительстве, утилизации и проведении ремонтно-восстановительных работ на судах

В ходе обработки статистических данных было определено влияние времени, дня недели и месяца на уровень пожарной опасности при проведении строительных, ремонтных работ [3, 4]. В дополнение к этому было установлено, что в связи с высоким уровнем пожаров по причине неисправности электроустановок и оборудования фактором влияния на уровень пожарной опасности необходимо считать их техническое состояние.

В ходе анализа внутриотраслевых стандартов [5, 6] был выявлен фактор влияния изначально опасных районов судна по техническому назначению на уровень пожарной опасности всего стоящего или ремонтируемого судна.

Проанализировав технологические процессы строительства, утилизации и ремонта крупнотоннажных судов, был определен фактор влияния внешней среды по уровню задымленности, типу дыма, температуре в зоне проведения работ на уровень пожарной опасности судна.

Таким образом, были определены основные факторы влияния на уровень пожарной опасности при строительстве, утилизации и проведении ремонтно-восстановительных работ, к которым были отнесены: огневые (ОР) и огнеопасные работы (О), пожарная нагрузка (ПН), контролируемые площади (КП), техническое состояние электроустановок (ТО), внешняя среда (ВС), а также значения текущего времени, даты и месяца проведения регламентных работ (ТВ).

Одним из наиболее эффективных методов оценки уровня пожарной опасности является метод ситуационного управления [7]. Базовая операция данного метода связана с процессом классификации параметров подсистем [8]. Модель объекта позволяет получить решение о принадлежности к какому-либо классу опасности (уровню пожарной опасности) на основе построения однородных ситуаций, возникающих при функционировании рассматриваемой сложной системы.

В зависимости от характера используемой априорной информации различают классификационные модели с обучением (модели распознавания образов) и классификационные модели без обучения (модели автоматической классификации или кластерного анализа). Для решения научной задачи используется модель с обучением. Для принятия решения об уровне пожарной опасности (УПО) было произведено агрегирование массива параметров, характеризующих уровень влияния параметров огневых работ (УВПОР), уровень влияния параметров огнеопасных работ (УВПО), уровень влияния характеристик пожарной нагрузки (УВХПН), уровень влияния характеристик внешней среды (УВХВС), уровень влияния параметров контролируемых площадей (УВПКП), уровень влияния параметров технического обслуживания электроустановок и оборудования (УВПТО), уровня влияния текущего времени, дня недели и месяца на проведение регламентных работ (УВПТВ). Классификация групп

показателей определяет нечеткие оценки степеней принадлежности уровня влияния пожарной опасности технологических процессов $\mu(W_{OP})$, $\mu(W_O)$, уровня влияния контрольных площадей $\mu(W_{KP})$, уровня влияния характеристик ПН $\mu(W_{PN})$, уровня влияния характеристик ВС $\mu(W_{BC})$, уровня влияния от проведения ТО $\mu(W_{TO})$, уровня ТВ $\mu(W_{TD})$ на общий уровень пожарной опасности к каждому из классов, указанных на рис. 4.

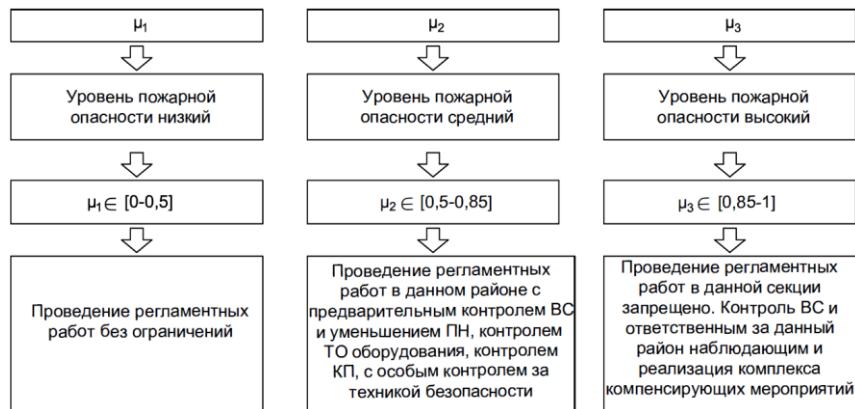


Рис. 4. Уровни пожарной опасности

Для описания образа ситуаций была разработана модель для мониторинга и прогнозирования УПО при строительстве, утилизации и проведении ремонтно-восстановительных работ, представленная на рис. 5.

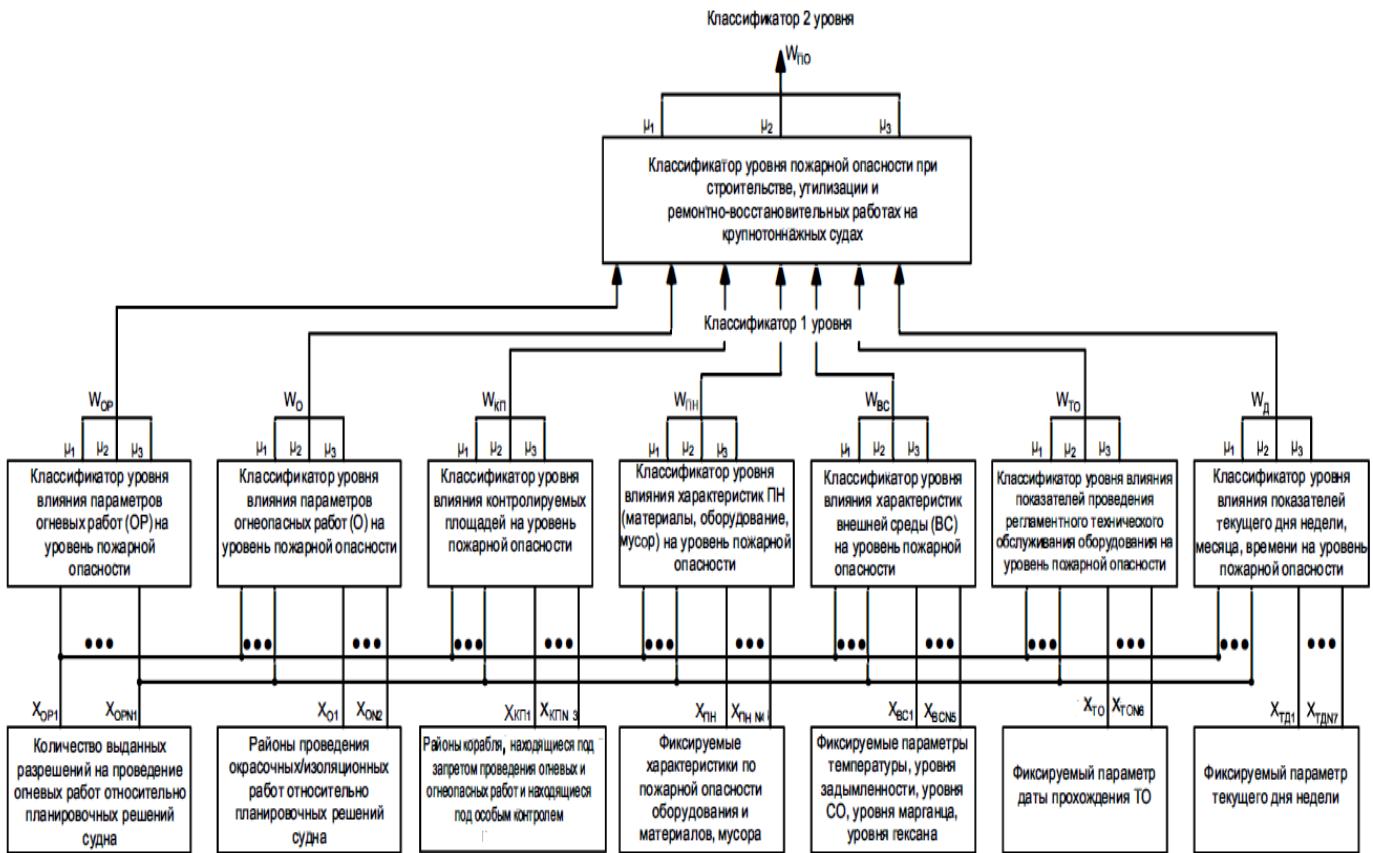


Рис. 5. Модель для мониторинга и прогнозирования УПО при строительстве, утилизации и проведении ремонтно-восстановительных работ на крупнотонажных судах

Классификаторы предлагаемой модели позволяют определить вероятность пожара ($W_{\text{по}}$). Для диагностики и прогнозирования УПО при строительстве, утилизации и ремонтно-восстановительных работах вероятность возникновения пожара определяется с учетом вероятности нарушения параметров проведения технологических процессов ($W_{\text{OP}}, W_{\text{o}}$), а также с учетом вероятности нарушения требуемого расстояния при определении КП ($W_{\text{КП}}$) с учетом параметров ПН ($W_{\text{ПН}}$), параметров ВС ($W_{\text{ВС}}$), критических показателей температуры, уровня задымленности, концентрации гексана, влияющих на увеличение показателя пожарной опасности, с учетом параметров регламента проведения ТО электроустановок и оборудования ($W_{\text{ТО}}$), с учетом параметров ТВ ($W_{\text{ТВ}}$). Таким образом, подсистема классификации позволяет определить степени принадлежности УПО к заданным классам [9].

На основе модели был разработан метод определения УПО при строительстве, утилизации и проведении ремонтно-восстановительных работ, который представлен на рис. 6.

Таким образом, предлагаемая методика снижения пожарной опасности при строительстве, утилизации и проведении ремонтно-восстановительных работ на крупнотоннажных судах состоит из следующих этапов:

1. Сбор информации об этапе строительства судна на основе BIM-модели.

2. Сбор информации о КП.

3. Сбор информации об ОР и О, выполняемых на текущую смену.

4. Сбор информации о типе и количестве ПН (оборудование, материалы, средства индивидуальной защиты, средства оснащения, ветошь и пр.) в районах проведения ОР и О и в зонах КП.

5. Сбор информации о графиках уборки и вывоза отходов производства с объекта.

6. Дистанционная идентификация параметров ВС района проведения ОР и О (температура, уровень задымленности, предельно допустимые концентрации (ПДК-зоны) посредством АСРОВ (непрерывный)).

7. Получение информации из БД ремонтных цехов обслуживания электроустановок и оборудования, применяемого при проведении регламентных работ.

8. Ввод данных, формирование БД о характеристиках ПН, максимально опасных показателей ТВ и параметров ОР (место проведения).

9. Формируется цифровая база данных (ЦБД) о выполняемых ОР и О, о типе и количестве ПН, о применяемых электроустановках и оборудовании, о количестве контролируемых зон, о критических значениях времени, дней недели и месяцев с повышенной опасностью относительно возникновения возгораний.

10. Отправка результатов дистанционного контроля центра обработки данных и принятия решений центрального диспетчера (ЦОДПР ЦД). ЦБД сохраняется в ЦОДПР ЦД на сервере БД для оперативного реагирования и получения информации об объекте.

11. При введении запроса на выдачу разрешения на проведение ОР или поступления информации об изменении характеристик ПН или поступлении сигналов от АСРОВ об изменении условий ВС в конкретном районе выполнения работ результаты контроля отправляются в ЦОДПР ЦД. Формируется и отправляется сигнал активации системы контроля параметров пожарной опасности.

12. В ЦОДПР ЦД принимают сигнал активации и выборки информации БД о типах технологических процессов и ПН в данном районе, количестве контролируемых зон, об информации о ВС от контроллеров АСРОВ посредством приема информации с АСРОВ с результатами дистанционного контроля от мультикритериальных датчиков в данном районе производства работ.

13. Осуществляется совместная обработка информации с результатами дистанционного контроля параметров ВС от АСРОВ, информацией о технологических процессах, информацией о типе ПН, о количестве контролируемых зон, об электроустановках и оборудовании, применяемых в данном районе проведения работ, с информацией о текущем времени, дне недели и месяце.

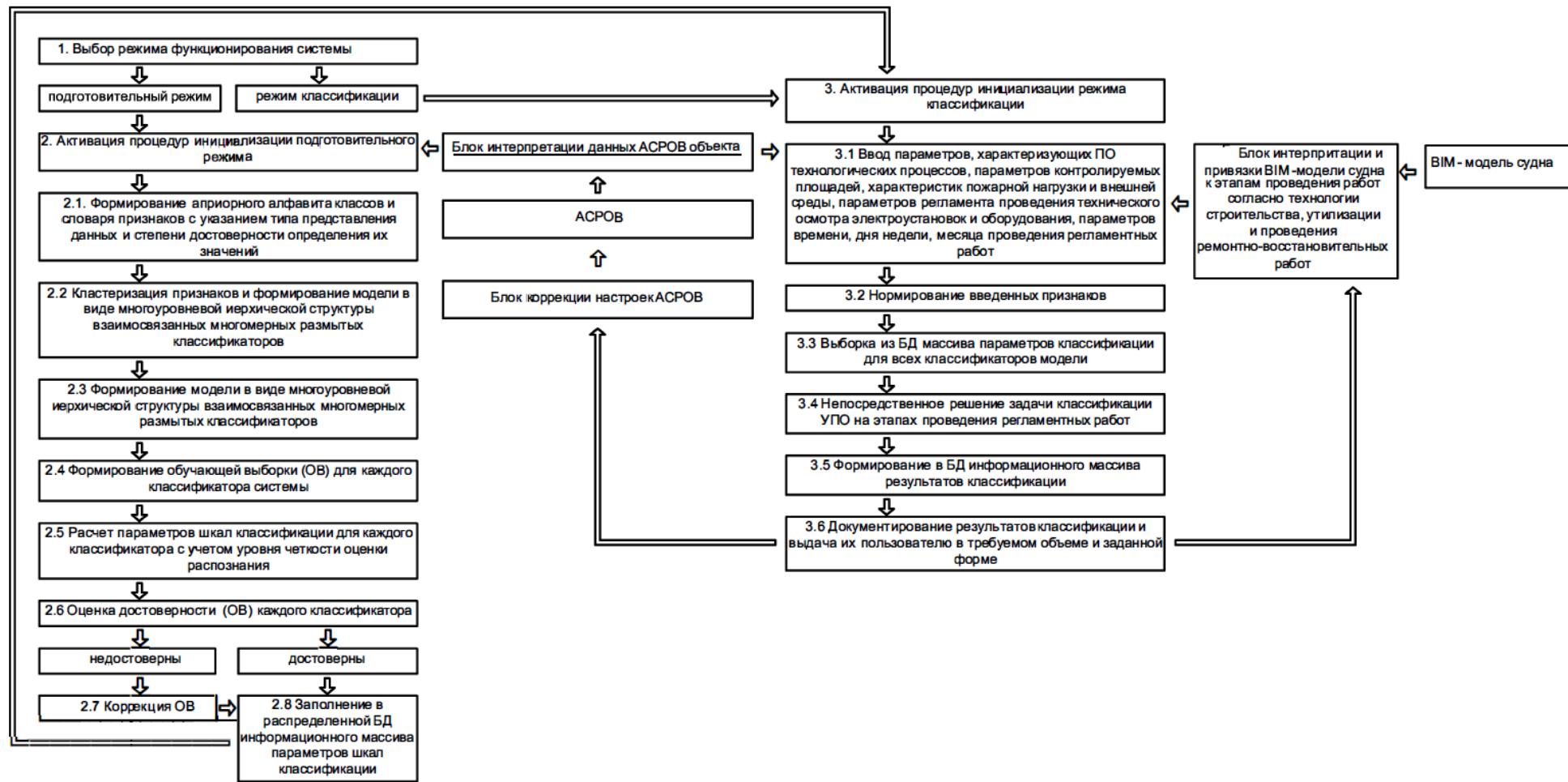


Рис. 6. Метод определения пожарной опасности:

ПО – пожарная опасность;

ОВ – обучающая выборка;

БД – базы данных;

АСРОВ – автоматическая система раннего обнаружения возгораний

14. Определяются признаки появления опасных факторов пожара с параметрами выше допустимого индивидуально для каждого района проведения работ. Осуществляется дистанционный контроль и сохранение информации в памяти системы об уровне зафиксированных признаков появления опасных факторов пожара с параметрами выше допустимого для соответствующего района строительства. Сведения отправляются в ЦОДПР ЦД.

В ЦОДПР ЦД происходит прием сведений об уровнях зафиксированных признаков появления опасных факторов пожара с параметрами выше допустимого для соответствующих районов проведения работ. Начинается совместная обработка информации об уровнях зафиксированных признаков появления опасных факторов пожара с параметрами выше допустимого для соответствующих районов с результатами дистанционного контроля ВС, информацией о наличии и типе ПН, информацией об электроустановках и оборудовании и информацией о текущем времени, дне недели и месяце. Происходит формирование и сохранение результатов обработки данных (при этом происходит определение и присвоение УПО каждому району производства работ, выводится алгоритм дальнейших действий).

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведенных исследований установлены основные факторы влияния на УПО при строительстве, утилизации и проведении ремонтно-восстановительных работ. Разработана методика и реализованная на ее основе модель для диагностики и прогнозирования УПО позволяет проводить анализ степени влияния внутренних и внешних факторов, представленных в нечеткой расплывчатой форме, на УПО крупнотоннажного судна. Разработанная модель многомерных размытых классификаторов характеризует степень влияния на УПО параметров технологических процессов, КП, характеристик ПН, состояния ВС, регламентного технического осмотра электроустановок и оборудования с учетом влияния человеческого фактора на выполнение работ в определенное время, день недели и месяц [10].

В ходе проведения исследования синтезировалась структурно-функциональная схема аппаратно-программного комплекса диагностики и прогнозирования УПО на этапах работ (АПКДП УПО) (рис. 7). Данная схема реализована на принципах обработки входных данных о графике выполнения работ на основе ВИМ-модели судна, о пожарной опасности ОР и О, о наличии КП с повышенным уровнем пожарной опасности, о принимаемой ПН на объект и обращение ее на объекте (включая графики вывоза отходов производства и уборки), о применяемых электроустановках и оборудовании, используемых при проведении ОР и О, а также входных данных от системы АСРОВ, основанной на мультикритериальных датчиках измерения уровня задымленности, роста температуры и измерением ПДК в рабочей зоне и данных о максимальном УПО вследствие нарушения техники безопасности персоналом, зафиксированной в статистических данных карточек учета возгораний.

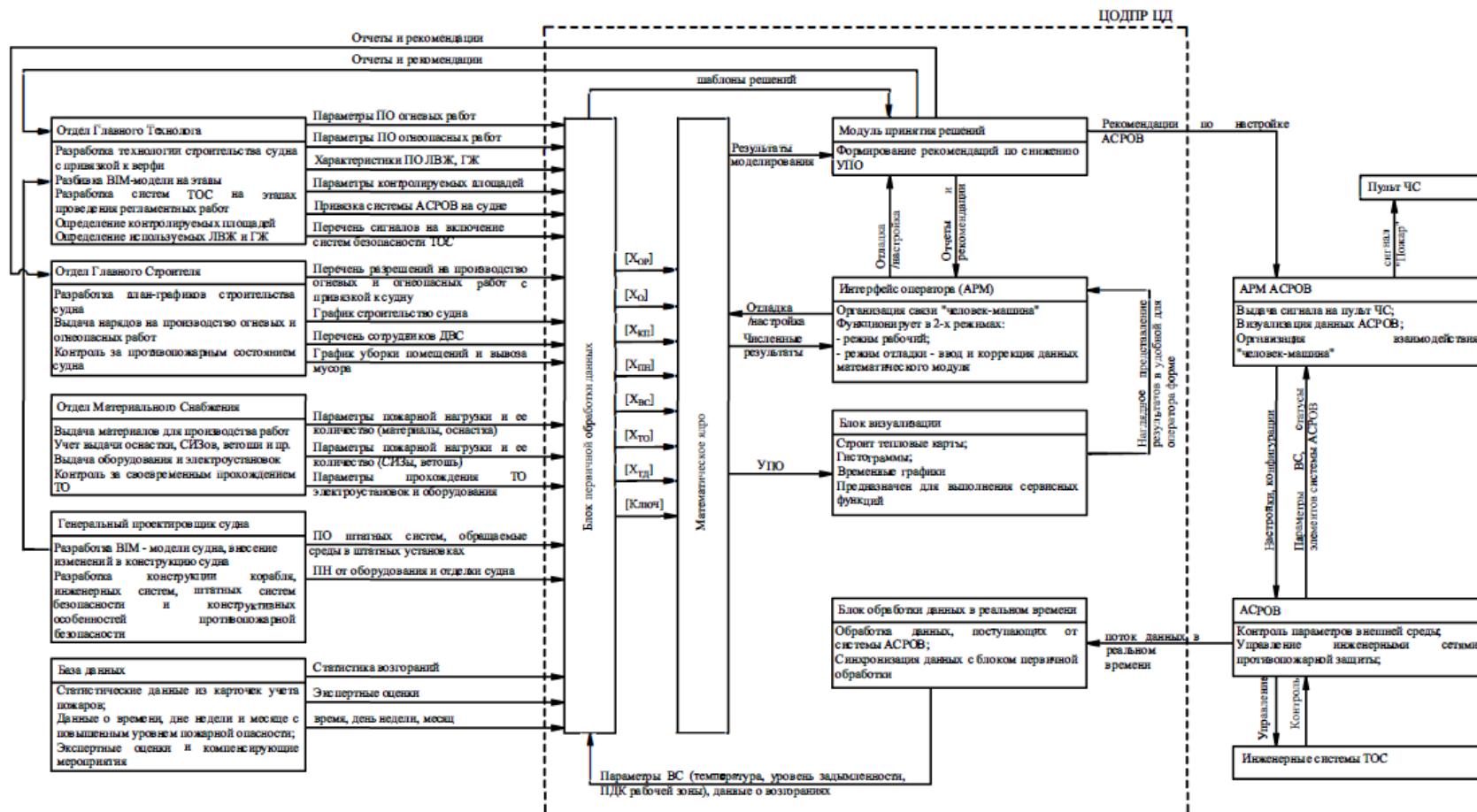


Рис. 7. Структурная схема программно-аппаратного комплекса:
ТОС – техническое оснащение судов;
ДВС – дежурно-вахтенная служба;
СИЗ – средство индивидуальной защиты;
АРМ – автоматизированное рабочее место;
ЛВЖ – легковоспламеняющаяся жидкость;
ГЖ – горючая жидкость

Заключение

В ходе исследования установлено, что к наиболее эффективным и экономически целесообразным методам снижения пожарной опасности относятся методы и способы, основанные на раннем обнаружении признаков и предпосылок к возникновению пожара. Современные и перспективные системы пожарной автоматики, обеспечивающие пожарную безопасность, должны обладать собственными интеллектуальными возможностями как на уровне центрального управления всей системой, так и на уровне отдельных датчиков, пожарных извещателей и другого оконечного оборудования, объединенных между собой в единую интеллектуальную самоорганизующуюся сенсорную сеть [11, 12].

Также определено, что первым шагом в реализации интеллектуальных комплексных систем пожарной автоматики нового поколения, обеспечивающих максимально полный учет особенностей строительства, утилизации и ремонтно-восстановительные работы на крупнотоннажных судах, должна стать разработка адаптируемых цифровых моделей (цифровых двойников) объектов защиты, сопровождающих все этапы работ.

Список источников

1. Актерский Ю.Е., Мотыженкова М.Г. Пожарная опасность технологических процессов при строительстве, утилизации и ремонтно-восстановительных работах на судах надводного и подводного плавания // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2021: материалы Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: ИПТ РАН, 2021. С. 254–258.
2. Актерский Ю.Е., Мотыженкова М.Г., Шидловский Г.Л. Адаптивная система раннего обнаружения возгораний на этапах строительства и ремонта судов класса «Aframax» // Проблемы управления рисками в техносфере. 2020. № 4 (56). С. 26–31.
3. Актерский Ю.Е., Мотыженкова М.Г. Автоматизированная система оценивания и прогнозирования пожарной опасности при производстве строительных и ремонтно-восстановительных работ на крупнотоннажных судах // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2023: материалы Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: ИПТ РАН, 2023. С. 208–212.
4. Pekka Räisänen. Fire Risk and its Management in Cruise Vessel Construction Projects: Aalto University publication series: doctoral dissertations. 101/2014. Helsinki, 2014. P. 37.
5. СТО ОСК КСМК 12.003–2019. Правила пожарной безопасности на строящихся, ремонтируемых и переоборудуемых кораблях и судах. Общие технические требования. Ч. 1. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
6. РД 5Р.6207–93. Электроснабжение, освещение, охранная и пожарная сигнализация, оперативная техническая связь строящихся, переоборудуемых и ремонтируемых судов. Проектирование, монтаж и эксплуатация. Нормы и правила. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
7. Шубинский И.Б. Методы обеспечения функциональной надежности программ // Надежность. 2014. № 4. С. 87–101.
8. Смирнов А.С. Концептуальные основы агрегирования частных показателей уровня противопожарного состояния опасных производственных объектов // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2011. № 1. С. 32–37. EDN ONXXVP.
9. Бородай С.П., Летин А.Н., Шедько С.В. Экспериментальные исследования структуры пламени и его воздействия на ограждающие судовые конструкции // Труды Крыловского государственного научного центра. 2020. № 392 (2). Р. 79–88.
10. Моторыгин Ю.Д., Решетов А.П., Косенко Д.В. Область применения теории нечетких множеств в пожарном деле // Проблемы управления рисками в техносфере. 2015. № 2 (34). С. 66–69. EDN UGLUOX.
11. Luca Fiorentini, Fabio Dattilo. Fire risk management: Principles and strategies for buildings and industrial assets. 2023. P. 480.
12. Critical risk factors in ship fire accidents / Likun Wang [et al.] // Maritime Policy & Management. 2020. DOI: 10.1080/03088839.2020.1821110.

References

1. Akterskij Yu.E., Motyzenkova M.G. Pozharnaya opasnost' tekhnologicheskikh processsov pri stroitel'stve, utilizacii i remontno-vosstanovitel'nyh rabotah na sudah nadvodnogo i podvodnogo plavaniya // Transport Rossii: problemy i perspektivy – 2021: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. SPb.: IPT RAN, 2021. S. 254–258.
2. Akterskij Yu.E., Motyzenkova M.G., Shidlovskij G.L. Adaptivnaya sistema rannego obnaruzheniya vozgoranj na etapah stroitel'stva i remonta sudov klassa «Aframax» // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2020. № 4 (56). S. 26–31.
3. Akterskij Yu.E., Motyzenkova M.G. Avtomatizirovannaya sistema ocenivaniya i prognozirovaniya pozharnoj opasnosti pri proizvodstve stroitel'nyh i remontno-vosstanovitel'nyh rabot na krupnotonnazhnyh sudah // Transport Rossii: problem i perspektivy – 2023: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. SPb.: IPT RAN, 2023. S. 208–212.
4. Pekka Räisänen. Fire Risk and its Management in Cruise Vessel Construction Projects: Aalto University publication series: doctoral dissertations. 101/2014. Helsinki, 2014. P. 37.
5. STO OSK.KSMK 12.003–2019. Pravila pozharnoj bezopasnosti na stroyashchihsya, remontiruemym i pereoboruduemyh korablyah i sudah. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Ch.' 1. Dostup iz sprav.-pravovoij sistemy «Konsul'tantPlyus».
6. RD 5R.6207–93. Elektrosnabzhenie, osveshchenie, ohrannaya i pozharnaya signalizaciya, operativnaya tekhnicheskaya svyaz' stroyashchihsya, pereoboruduemyh i remontiruemym sudov. Proektirovanie, montazh i ekspluataciya. Normy i pravila. Dostup iz sprav.-pravovojo sistemy «Konsul'tantPlyus».
7. Shubinskij I.B. Metody obespecheniya funkcion'noj nadezhnosti programm // Nadezhnost'. 2014. № 4. S. 87–101.
8. Smirnov A.S. Konceptual'nye osnovy agregirovaniya chastnyh pokazatelej urovnya protivopozharnogo sostoyaniya opasnyh proizvodstvennyh ob"ektov // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2011. № 1. S. 32–37. EDN ONXXVP.
9. Borodaj S.P., Letin A.N., Shed'ko S.V. Eksperimental'nye issledovaniya struktury plameni i ego vrzdejstviya na ogranzhdayushchie sudovye konstrukcii // Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo centra. 2020. № 392 (2). P. 79–88.
10. Motorygin Yu.D., Reshetov A.P., Kosenko D.V. Oblast' primeneniya teorii nechetkih mnozhestv v pozharnom dele // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2015. № 2 (34). S. 66–69. EDN UGLUOX.
11. Luca Fiorentini, Fabio Dattilo. Fire risk management: Principles and strategies for buildings and industrial assets. 2023. P. 480.
12. Critical risk factors in ship fire accidents / Likun Wang [et al.] // Maritime Policy & Management. 2020. DOI: 10.1080/03088839.2020.1821110.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 07.10.2024; одобрена после рецензирования: 25.11.2024;
принята к публикации: 04.03.2025

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 07.10.2024; approved after review: 25.11.2024;
accepted for publication: 04.03.2025

Информация об авторах:

Мотыженкова Марина Георгиевна, соискатель Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России
(196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: marina_botova@mail.ru, SPIN-код: 4656-3571

Information about the authors:

Motyzenkova Marina G., the applicant of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM
of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: marina_botova@mail.ru, SPIN: 4656-3571