

Научная статья
УДК 656.085.5
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2025.66.82.017

Модель для оценивания и прогнозирования уровня пожарной опасности при строительстве, утилизации и ремонтно-восстановительных работах на крупнотоннажных судах

Марина Георгиевна Мотыженкова

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

Автор ответственный за переписку: *Марина Георгиевна Мотыженкова,*

marina_botova@mail.ru

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы мониторинга и прогнозирования возгораний на этапах строительства, утилизации и ремонтно-восстановительных работ крупных судов. Установлена связь между уровнем пожарной опасности и характеристиками технологических процессов. Предложены уровни ранжирования пожарной опасности и их классификация. Разработана модель прогнозирования и мониторинга уровня пожарной опасности на основе классификаторов первого и второго уровня, которые определяют уровень пожарной опасности технологических процессов, контролируемых площадей, пожарной нагрузки на судне, технического состояния электрооборудования и характеристик внешней среды с учетом времени, дня недели и месяца. Модель анализирует входные параметры объекта строительства, утилизации или реконструкции, чтобы определить влияние этих характеристик на уровень пожарной опасности всего объекта. В ходе исследования выделено 8 основных классификаторов первого уровня, влияющих на уровень пожарной опасности. Сложность модели обусловлена тем, что объект является динамически изменяемой системой с переменным набором входных параметров и изменяющимися геометрическими размерами. Система учитывает изменения в технологии работ и входные параметры на начало рабочей смены, предоставляя результирующее значение уровня пожарной опасности.

Ключевые слова: крупнотоннажные корабли, модель для мониторинга и прогнозирования, возгорание, пожар, детектирование возгораний, ремонт кораблей, пожарная опасность

Для цитирования: Мотыженкова М. Г. Модель для оценивания и прогнозирования уровня пожарной опасности при строительстве, утилизации и ремонтно-восстановительных работах на крупнотоннажных судах // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 1(36). С. 175-181. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.66.82.017>

Original article

A model for estimating and predicting risk levels of fire hazards during construction, utilization and repair works on large capacity vessels

Marina G. Motyzenkova

Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Saint Petersburg, Russia,

Corresponding author: *Marina G. Motyzenkova, marina_botova@mail.ru*

Abstract. The article addresses the monitoring and prediction of fire occurrences during the construction, utilization, and repair of large-capacity surface and submarine vessels. It establishes a connection between fire hazard levels and the parameters of technological processes. Proposed are levels for ranking fire danger and their classification. A model for predicting and monitoring fire danger is developed based on first- and second-level classifiers, which assess the fire hazard level of technological processes, the influence of fire load characteristics on the vessel, and external environmental factors, considering the current time, day of the week, and month. This model uses input parameters from construction, utilization, or reconstruction projects to determine how these characteristics impact the overall fire danger of the object. The study identifies eight primary first-level classifiers that affect the fire danger of the object. The complexity of the model lies in the fact that the construction, utilization, and reconstruction projects are dynamically changing systems with varying input parameters and continuously shifting geometric dimensions. The system accounts for all changes and the set of input parameters at the beginning of the work shift, yielding a resultant fire danger level.

Keywords: large-capacity vessels, model for monitoring and forecasting, ignition, fire, fire detection, ship repair, fire hazard

For citation: Motyzhenkova M.G. A model for estimating and predicting risk level of fire hazards during construction, utilization and repair works on large-capacity vessels // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2025. № 1(36). С. 175-181. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.66.82.017>

Строительство, утилизация и ремонтно-восстановительные работы крупнотоннажных судов действительно сопряжены с повышенной пожарной опасностью. Это связано с одновременным выполнением множества огневых и огнеопасных работ, а также высоким уровнем пожарной нагрузки на этих объектах. К основным причинам возникновения пожаров можно отнести следующие факторы:

Огневые работы и работы с открытым пламенем: при проведении таких работ возможно разлетание искр и возникновение перегретых поверхностей, что увеличивает риск возникновения пожара.

Окрасочные и изоляционные работы: используемые при этих работах вещества могут образовывать взрывоопасные концентрации, а также обладать высокой пожароопасностью, что также увеличивает риск.

Внешняя среда: условия высокой температуры и задымленности, которые могут возникать во время работ, дополнительно способствуют повышению пожарной опасности.

Пожарная нагрузка: накопление отходов производства, использование большого количества легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в технологических процессах увеличивает общую пожарную нагрузку на объект.

Нарушение техники безопасности: несоблюдение правил безопасности при проведении огневых работ может привести к аварийным ситуациям и возникновению пожаров.

Эти факторы делают крайне важным внедрение эффективных систем мониторинга и прогнозирования уровня пожарной опасности в процессе строительства, эксплуатации и ремонта крупнотоннажных судов, чтобы минимизировать риски и обеспечить безопасность [1,8,10].

Для определения и своевременного предотвращения пожаров при строительстве, утилизации и ремонтно-восстановительных работах необходимо применять автоматическую систему раннего обнаружения возгораний (АСРОВ) для контроля внешней среды внутри помещений объекта, автоматический учет выдачи разрешений на выполнение огневых и огнеопасных работ, автоматический учет ввозимой и вывозимой пожарной нагрузки с объекта, автоматический контроль за пожароопасными площадями, а также учет проведения технического осмотра электроустановок и оборудования, применяемых при выполнении регламентных работ. Для недопущения срывов сроков строительства, утилизации и ремонтно-

восстановительных работ контроль всех факторов должен проводиться в автоматическом режиме в реальном масштабе времени и пересчитывать уровень пожарной опасности в момент изменения одного из факторов опасности в определённом районе объекта. При этом показатели достоверности и эффективности контроля должны отвечать самым высоким и жестким требованиям, комплексная реализация которых возможна только на основе системного подхода [2,3].

Важнейшим требованием системного подхода к методам оценивания и прогнозирования уровня пожарной опасности (УПО) при строительстве, утилизации и ремонтно-восстановительных работах в условиях динамически изменяемых параметров технологических процессов и операций, уровня влияния характеристик пожарной нагрузки, уровня влияния характеристик внешней среды, уровня влияния параметров контролируемых площадей, уровня влияния параметров технического обслуживания электроустановок и оборудования, а также уровня влияния текущего времени, дня недели и месяца на проведение регламентных работ является требование многоуровневого иерархического представления и анализа всех возможных факторов, в совокупности влияющих на УПО.

Одним из наиболее эффективных методов оценки пожарной опасности является метод ситуационного управления. Базовая операция данного метода связана с процессом классификации параметров подсистем. Модель объекта позволяет получить решение о принадлежности к какому-либо уровню опасности (УПО) 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 будет использоваться модель с обучением. Абсолютно все показатели уровня пожарной опасности учесть сложно, поэтому для принятия решения об уровне пожарной опасности произведем агрегирование массива параметров, характеризующих перечисленные выше факторы. Данные параметры будут объединены в небольшое число обобщенных (агрегированных, интегральных) показателей влияния на уровень пожарной опасности.

Данные показатели объединяют параметры, характеризующие конкретные технологические процессы, свойства пожарной нагрузки, параметры внешней среды, контролируемых площадей, технического обслуживания и текущего времени. Для определения уровня пожарной опасности исследуемого объекта будет использован метод многократной свертки частных показателей. Задача оценивания интегрального показателя УПО по заданным значениям частных критериальных характеристик решается снижением до единицы размерности исследуемого пространства признаков $\Pi(p)(x)$ [6,7].

На начальном этапе создания математической модели необходимо консолидировать всю исходную информацию, которая может включать в себя следующие компоненты: статистические данные о возгораниях, экспертные оценки по пожарной безопасности, данные из справочной и специализированной литературы, а также информацию об условиях внешней среды, получаемую из автоматизированной системы раннего обнаружения возгораний. Собранные данные позволят создать обоснованную и полную картину потенциальной пожарной опасности и обеспечат основу для дальнейшего анализа и моделирования, позволяющего учитывать различные факторы, влияющие на УПО.

Для предупреждения и своевременного предотвращения пожаров во время строительства, утилизации и ремонтно-восстановительных работ необходимо использовать комплекс мероприятий, позволяющих контролировать значения параметров опасных технологических процессов, характеристик пожарной нагрузки, факторов внешней среды, в совокупности способных привести к возникновению пожара, с учетом текущего времени, дня, недели и месяца [4,5].

Связь между УПО в целом, параметрами пожарной опасности технологических процессов, характеристиками пожарной нагрузки, параметрами контролируемых площадей, параметрами прохождения технического обслуживания электроинструмента и оборудования, внешней средой и текущим временем сложна и нелинейна.

Следовательно, исследуемые процессы целесообразно описывать в вероятностных категориях, а в основу модели закладывать статистические закономерности, выявленные экспертами, что позволит избежать дорогостоящих экспериментов.

Минимизация числа ступеней иерархии, фильтрация части информации на нижних уровнях и укрупнение потоков информации на высших уровнях увеличивает устойчивость системы [6].

Модель содержит два уровня классификаторов. Классификаторы 1-го уровня решают задачи распознавания образов ситуаций, характеризующих УПО технологических процессов W_{OP} , W_O , уровень влияния контролируемых площадей $W_{КП}$, уровень влияния характеристик пожарной нагрузки $W_{ПН1}$ и $W_{ПН2}$, уровень влияния параметров технического обслуживания электроинструментов и оборудования $W_{ТО}$, уровень влияния характеристик внешней среды $W_{ВС}$, уровень влияния текущего времени, дня недели и месяца на уровень пожарной опасности $W_{ВР}$, W_M , W_D .

Входными параметрами являются классификаторы первого уровня – параметры, характеризующие уровень пожарной опасности технологических процессов огневых работ $X_{OP} = (x_{OP1}, \dots, x_{OPN1})$, огнеопасных работ $X_O = (x_{O1}, \dots, x_{ON2})$, контролируемой площади $X_{КП} = (x_{КП1}, \dots, x_{КПN3})$, пожарной нагрузки $X_{ПН} = (x_{ПН1}, \dots, x_{ПНN4})$, внешней среды $X_{ВС} = (x_{ВС1}, \dots, x_{ВСN5})$, технического осмотра электроустановок и оборудования $X_{ТО} = (x_{ТО1}, \dots, x_{TON6})$, текущего времени, дня недели, месяца $X_{ТД} = (x_{ТД1}, \dots, x_{ТДN7})$ – уровень влияния этих всеми характеристик на соответствующий уровень пожарной опасности (W_{OP} , W_O , $W_{КП}$, $W_{ПН}$, $W_{ВС}$, $W_{ТО}$, $W_{ТД}$) возникновения пожара при строительстве, утилизации и ремонтно-восстановительных работах на крупнотоннажных судах. Значения этих параметров определяются путем учета выданных разрешений на огневые работы с привязкой к BIM модели объекта, учета окрасочных районов, выделения контролируемых площадей с потенциально высоким уровнем пожарной опасности, контроле характеристик окружающей среды и ввозимой и вывозимой пожарной нагрузки, регламента проведения ТО и освидетельствования электроустановок и оборудования, а также с учетом текущего времени, дня недели и месяца. Классификация групп показателей определяет нечеткие оценки степеней принадлежности уровня влияния пожарной опасности технологических процессов $\mu(W_{OP})$, $\mu(W_O)$, уровня влияния контрольных площадей $\mu(W_{КП})$ уровня влияния характеристик ПН $\mu(W_{ПН})$, уровня влияния характеристик внешней среды $\mu(W_{ВС})$, уровня влияния от проведения ТО $\mu(W_{ТО})$, уровня влияния текущего времени, дня недели, месяца $\mu(W_{ТД})$ на общий уровень пожарной опасности к каждому из классов (Рис.1).

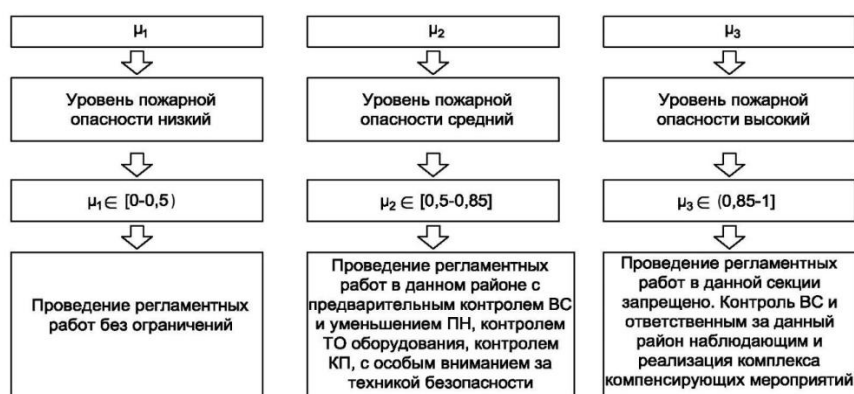


Рис.1. Уровни пожарной опасности

Связь между УПО в целом и его отдельными составляющими, такими как уровень пожарной опасности огневых работ, огнеопасных работ, контролируемых площадей, пожарной нагрузки, внешней среды, регламентом технического обслуживания электроустановок и оборудования, а также текущей датой, имеет нелинейный характер. Для описания образа ситуаций разработана модель для мониторинга и прогнозирования уровня пожарной опасности при строительстве, утилизации и проведении ремонтно-восстановительных работ, которая может быть представлена в виде совокупности однородных структур, характеризующих пожарную опасность отдельных подсистем.

Оценка уровня влияния на пожарную опасность соответствующих компонентов представляется в виде векторов степеней принадлежности к введённым классам:

$$\mu(W_{OP}) = \{\langle \mu_k(X_{OP}) \rangle: k = (1,3) \};$$

$$\mu(W_O) = \{\langle \mu_k(X_O) \rangle: k = (1,3) \};$$

$$\mu(W_{КП}) = \{\langle \mu_k(X_{КП}) \rangle: k = (1,3) \};$$

$$\mu(W_{ПН}) = \{\langle \mu_k(X_{ПН}) \rangle: k = (1,3) \};$$

$$\mu(W_{BC}) = \{\langle \mu_k(X_{BC}) \rangle: k = (1,3) \};$$

$$\mu(W_{ТО}) = \{\langle \mu_k(X_{ТО}) \rangle: k = (1,3) \};$$

$$\mu(W_{ТД}) = \{\langle \mu_k(X_{ТД}) \rangle: k = (1,3) \};$$

Модель для диагностики и прогнозирования УПО при строительстве, утилизации и ремонтно-восстановительных работ представлена на Рис.2.

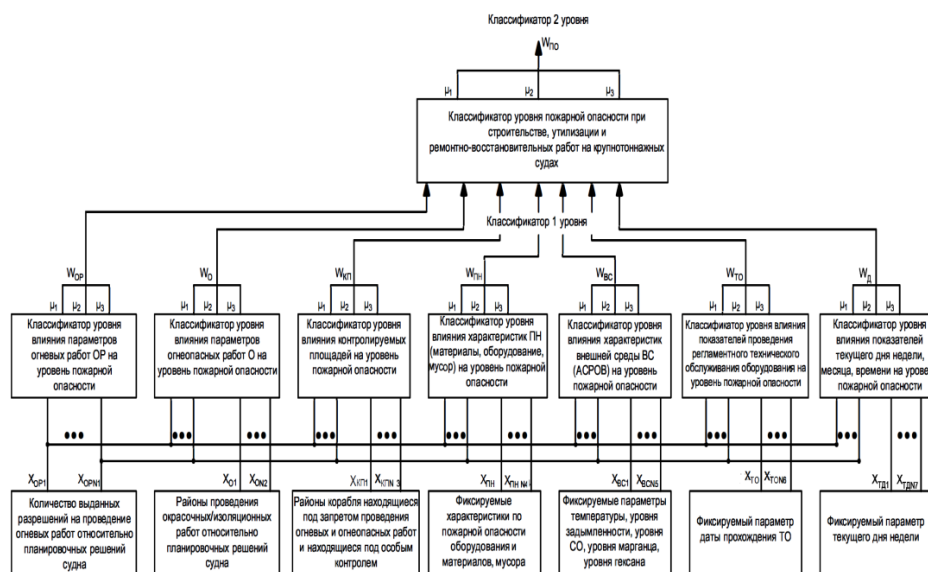


Рис.2. Модель для мониторинга и прогнозирования уровня пожарной опасности при строительстве, утилизации и проведения ремонтно-восстановительных работ на крупнотоннажных судах

Классификаторы второго уровня решают задачу определения степеней принадлежности УПО $W_{ПО}$ к классам. К таким классификаторам относятся три коэффициента μ_1 , μ_2 , μ_3 , которые характеризуют общий УПО при строительстве, утилизации и проведении ремонтно-восстановительных работ на крупнотоннажных судах с учетом принятых параметров пожарной опасности в систему мониторинга. При этом общий УПО должен быть соизмерим с экономической составляющей строительства, утилизацией и ремонтно-восстановительных работ.

Классификаторы предлагаемой модели позволяют определить вероятность пожара ($W_{ПО}$). Для диагностики и прогнозирования УПО при строительстве, утилизации и проведения ремонтно-восстановительных работ вероятность возникновения пожара определяется с учётом вероятности нарушения параметров проведения технологических процессов (W_{OP} , W_O), а также с учётом вероятности нарушения несоблюдения расстояний при определении контролируемых

площадей ($W_{кп}$), с учетом параметров пожарной нагрузки ($W_{пн}$) с учётом параметров внешней среды ($W_{вс}$) критических показателей температуры, уровня задымленности, концентрации гексана, влияющих на увеличение показателя пожарной опасности, с учетом параметров регламента проведения технического обслуживания электроустановок и оборудования ($W_{то}$), с учетом параметров текущего времени, дня недели и месяца ($W_{тд}$) [7,9].

Таким образом, была разработана и реализована модель для оценивания и прогнозирования УПО при строительстве, утилизации и ремонтно-восстановительных работ, основанная на использовании математического аппарата размытых классификаторов. Эта модель, в отличие от известных, учитывает факторы, представленные в количественном и качественном виде, оказывающие наибольшее влияние на уровень пожарной опасности при проведении регламентных работ. Модель имеет два уровня классификаторов, что позволяет комплексно оценить пожарную опасность, и может быть использована при мониторинге пожарной опасности на различных объектах.

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 Международной научно-практической конференции. СПб.: ИПТ РАН. – Санкт-Петербург. – 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 Международной научно-практической конференции. СПб.: ИПТ РАН. – Санкт-Петербург. – 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. С. 37.
5. Luca Fiorentini, Fabio Dattilo. Fire risk management: Principles and strategies for buildings and industrial assets, ISBN: 978-1-119-82745-0. – 2023. – С. 480.
6. Шубинский И.Б. Методы обеспечения функциональной надежности программ / Шубинский И.Б. // Надежность. – 2014. – № 4. – С. 87–101.
7. Смирнов А.С. Концептуальные основы агрегирования частных показателей уровня противопожарного состояния опасных производственных объектов / Смирнов А.С. // Научно-аналитический журнал "Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России". – 2011. – № 1. – С. 32–37.
8. 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). – С. 79–88.
9. Моторыгин Ю.Д. Область применения теории нечетких множеств в пожарном деле / Моторыгин Ю.Д., Решетов А.П., Косенко Д.В. // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2015. – № 2(34). – С. 66–69.
10. Зыков В.И. Организация пожарного мониторинга. Вопросы подключения системы передачи извещений [Текст] / Зыков В.И. // Каталог пожарной безопасности. – 2015. – С. 100–101.

References

1. Aktersky Y.E., Motyzenkova M.G. Fire hazard of technological processes in construction, utilization and repair works on surface and underwater vessels // Transport of Russia: problems and prospects - 2021: materials of the International Scientific and Practical Conference. scientific and practical conference. St. Petersburg: IPT RAS. – St. Petersburg. – 2021. – pp. 254–258.

2. Aktersky Y.E., Motyzhenkova M.G., Shidlovsky G.L. Adaptive system of early detection of fires at the stages of construction and repair of “Aframax” class vessels // Problems of risk management in the Technosphere. – 2020. – № 4(56). – pp. 26-31.
3. Akterskiy Yu.E., Motyzhenkova M.G. Automatic System of estimation and forecasting of fire danger at manufacture of Construction and repair-reconstruction works on large-capacity ships // Transport of Russia: Problems and Prospects. Transport of Russia: problems and prospects – 2023: materials of the International Scientific and Practical Conference. St. Petersburg: IPT RAS. - St. Petersburg. – 2023. – pp. 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, – pp 37.
5. Luca Fiorentini, Fabio Dattilo. Fire risk management: Principles and strategies for buildings and industrial assets, ISBN: 978-1-119-82745-0. – 2023. – pp 480.
6. Shubinsky I.B. Methods of providing the functional reliability of programs / Shubinsky I.B. // Reliability. – 2014. – № 4. – pp. 87-101.
7. Smirnov A.S. Conceptual bases of aggregation of private indicators of the level of fire protection state of hazardous production facilities / Smirnov A.S. // Scientific and analytical journal ‘Bulletin of St. Petersburg University of the State Fire Fighting Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia’. – 2011. – № 1. – pp. 32-37.
8. Borodai S.P., Letin A.N., Shedko S.V. Experimental Investigations of Flame Structure and Its Impact on Enclosing Ship Structures. Proceedings of the Krylov State Research Centre. – 2020. – № 392(2). – pp. 79-88.
9. Motorigin Yu.D. Scope of the fuzzy set theory application in firefighting / Motorigin Yu.D., Reshetov A.P., Kosenko D.V. // Problems of risk management in the Technosphere. – 2015. – № 2(34). – С. 66-69.
10. Zykov, V.I. Organization of fire monitoring. Issues of connecting the notification transmission system [Text] / V.I. Zykov // Fire safety catalogue. – 2015. – pp. 100 - 101.

Статья поступила в редакцию 26.02.2025, одобрена после рецензирования 10.03.2025, принята к публикации 20.03.2025.

The article was submitted 26.02.2025, approved after reviewing 10.03.2025, accepted for publication 20.03.2025.