

Научная статья
УДК 614.835.3
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2024.68.97.005

Автоматизированный мониторинг взрывопожарного состояния объектов водородной энергетики

Мария Олеговна Мехоношина

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия,
<https://orcid.org/0000-0002-8643-4285>

Автор ответственный за переписку: Мария Олеговна Мехоношина, goryacheva.97@inbox.ru

Аннотация. В статье предложен метод снижения взрывопожарной опасности на производственных объектах водородной энергетики на основе адаптивной технологии гарантированного предотвращения пожаров. Разработана модульная структура автоматизированной системы поддержки принятия решений по снижению взрывопожарной опасности производственных объектов водородной энергетики. При разработке структурной схемы автоматизированной системы поддержки принятия решений были учтены факторы, влияющие на безопасное хранение водорода, которые способны при отклонении привести к взрывопожарной ситуации. Данная автоматизированная система поддержки принятия решений позволит свести риски возникновения взрывопожароопасных ситуаций к минимуму за счет непрерывного мониторинга производственного объекта водородной энергетики.

Ключевые слова: водород, водородная энергетика, автоматизированная система поддержки принятия решений, взрывопожарная опасность, гарантированное предотвращение пожаров

Для цитирования: Мехоношина М.О. Автоматизированный мониторинг взрывопожарного состояния объектов водородной энергетики // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 2 (33). С. 194-201. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.68.97.005>

Automated monitoring of explosive fire condition of hydrogen energy facilities

Mariya O. Mekhonoshina

Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Saint Petersburg, Russia,
<https://orcid.org/0000-0003-1288-7561>

Corresponding author: Mariya O. Mekhonoshina, goryacheva.97@inbox.ru

Abstract. The article proposes a method for reducing explosion and fire hazards at hydrogen energy production facilities based on adaptive technology for guaranteed fire prevention. A modular structure of an automated decision support system has been developed to reduce the explosion and fire hazard of hydrogen energy production facilities. When developing a block diagram of an automated decision support system, factors affecting the safe storage of hydrogen, which, if deviated, can lead to an explosion and fire situation, were taken into account. This automated decision support system will

help reduce the risks of explosion and fire situations to a minimum through continuous monitoring of the hydrogen energy production facility.

Keywords: hydrogen, hydrogen energy, decision support system, fire hazard, guaranteed fire prevention

For citation: Mekhonoshina M. O. Automated monitoring of explosive fire condition of hydrogen energy facilities // Siberian Fire and Rescue Bulletin 2024. № 2 (33). С. 194-201. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.68.97.005>

Введение

Вопрос применения водородного топлива в качестве энергоносителя является перспективным направлением в ближайшем будущем. В настоящее время наблюдается значительный рост инженерных разработок, работающих исключительно на водородном топливе, соответственно, в дальнейшем увеличится и количество предприятий, занимающихся производством и хранением водородного топлива. В соответствии с этим остро встает вопрос об обеспечении взрывопожарной безопасности объектов хранения сжиженного водородного топлива. Одним из наиболее эффективным вариантом решения проблемы является разработка автоматизированной системы поддержки принятия решений на основе искусственного интеллекта объекта хранения сжиженного водородного топлива [1]. При разработке автоматизированной системы поддержки принятия решений необходимо учитывать следующие факторы, влияющие на безопасное хранение сжиженного водородного топлива (Табл.1) [2-5]. При отклонении одного из данных показателей существует угроза возникновения взрывопожарной ситуации.

Табл.1 Факторы, влияющие на безопасное хранение сжиженного водородного топлива

Показатель	Значение
X ₁ – Температура в помещении, °С	+5...+15
X ₂ – концентрация водорода в помещении, моль/м ³	В кислороде 4...96% 15...94% В воздухе 4...75% 18,3...74%
X ₃ – толщина слоя осадка кислорода в резервуаре, мкм	Горение > 30 мкм Детонация > 100 мкм
X ₄ – наличие источников зажигания	Есть/нет
X ₅ – горючая нагрузка	Есть/нет
X ₆ – утечка водорода	Есть/нет

Проведенный анализ статистических данных по техногенным авариям на предприятиях промышленности и энергетики показал, что более чем в 80% случаях их причиной является «человеческий фактор» [6;7]. Используемые автоматизированные технические средства предупреждения и защиты от аварий на рабочем месте оказываются малоэффективными при возникновении взрывопожарной ситуации, так как в основном представляют собой систему по получению информации, поступающей от технических средств обеспечения пожарной

безопасности объекта. Решения по оценке уровня опасности аварийной ситуации принимает непосредственно оператор в условиях жесткого ограничения времени.

В связи с этим разработка автоматизированной системы поддержки принятия решений по предупреждению и оценке уровня опасности аварийных ситуаций является актуальной задачей.

Теоретическая часть

В процессе исследования был проведен углубленный анализ существующих методов снижения пожарной опасности на объектах хранения сжиженного водородного топлива, а также анализ статистических данных о производственных авариях и осуществлен поиск наиболее рационального и экономически обоснованного решения. Было установлено, что наиболее эффективными методами снижения пожарной опасности на объектах хранения сжиженного водорода являются методы, основанные на раннем обнаружении признаков возможного возникновения взрывопожароопасной ситуации [8;9;10] и реализуемые в рамках автоматизированных систем поддержки принятия решений (СППР).

Аппаратно-программные средства СППР должны быть способны определять уровни пожарной опасности в помещениях для хранения сниженного водородного топлива (Табл.2) и оперативно формировать информационные сигналы и сообщения предупреждения и управления.

Табл.2 Уровни пожарной опасности автоматизированной системы поддержки принятия решений

Уровень ПО	Описание
Критический уровень ПО	Максимальное отклонение значений опасных факторов, способных привести к возникновению взрывопожароопасной ситуации, от нормальных показателей.
Высокий уровень ПО	Отклонение нескольких значений опасных факторов, способных привести к возникновению взрывопожароопасной ситуации, от нормальных показателей.
Средний уровень ПО	Отклонение одного из значений опасных факторов, способных привести к возникновению взрывопожароопасной ситуации, от нормальных показателей.
Низкий уровень ПО	Значения опасных факторов, способных привести к возникновению взрывопожароопасной ситуации, находятся в пределах допустимых значений

Практическая часть

Автоматизированная СППР по снижению уровня пожарной опасности на производственных объектах хранения сжиженного водородного топлива представляет собой модульную структуру и должна содержать следующие подсистемы и модули, представленные на Рис.1.

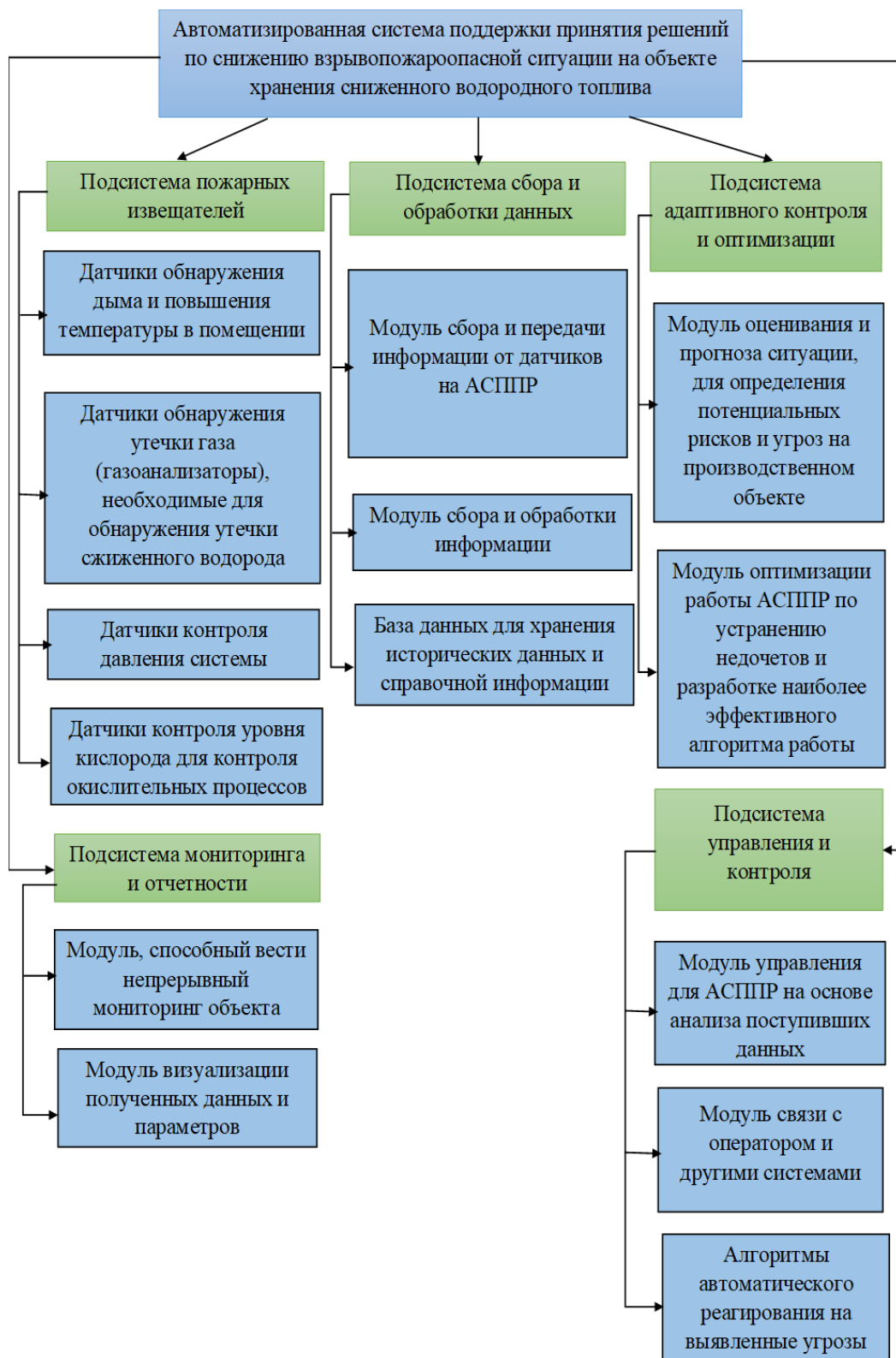


Рис. 1. Структура автоматизированной системы поддержки принятия решений на объекте хранения сжиженного водородного топлива

Представленные компоненты модульной структуры автоматизированной СППР на объекте хранения сниженного водородного топлива обеспечивают непрерывный мониторинг объекта и при выявлении признаков нештатной ситуации обеспечивают их обработку и оперативное формирование сигналов управления аппаратными средствами защиты и оповещения дежурного персонала.

Подсистема пожарных извещателей включает в себя группы датчиков, способных контролировать состояние параметров, влияющих на возникновение взрывопожароопасной ситуации на объекте защиты. Указанные параметры могут быть представлены вектором $P = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$.

Подсистема сбора и обработки информации включает в себя компоненты и модули для сбора требуемой информации о параметрах технологических процессов на объекте, ее обработке, а также реализует формирование и хранение статистических данных об аварийных ситуациях.

Подсистема адаптивного контроля и оптимизации производит анализ и прогноз возникновения возможной взрывопожароопасной ситуации. Также данная подсистема имеет модуль оптимизации работы, предназначенный для устранения недочетов и ошибок в работе автоматизированной системы поддержки принятия решений на объекте хранения сжиженного водородного топлива.

Подсистема мониторинга и формирования отчетности производит непрерывный мониторинг объекта, а также предоставляет отчеты по результатам этого мониторинга.

Подсистема управления и контроля содержит модуль управления автоматизированной СППР и программно-алгоритмическое обеспечение автоматического реагирования на поступающие угрозы возникновения пожароопасной ситуации. Также данная подсистема содержит интерфейсную коммуникационную систему для взаимодействия с оператором дежурно-диспетчерской службы.

Структурно-функциональная схема автоматизированной СППР по снижению взрывопожарной опасности производственных объектов хранения сжиженного водородного топлива, исходя из ее модульной структуры, состоит из блоков (Рис.2).

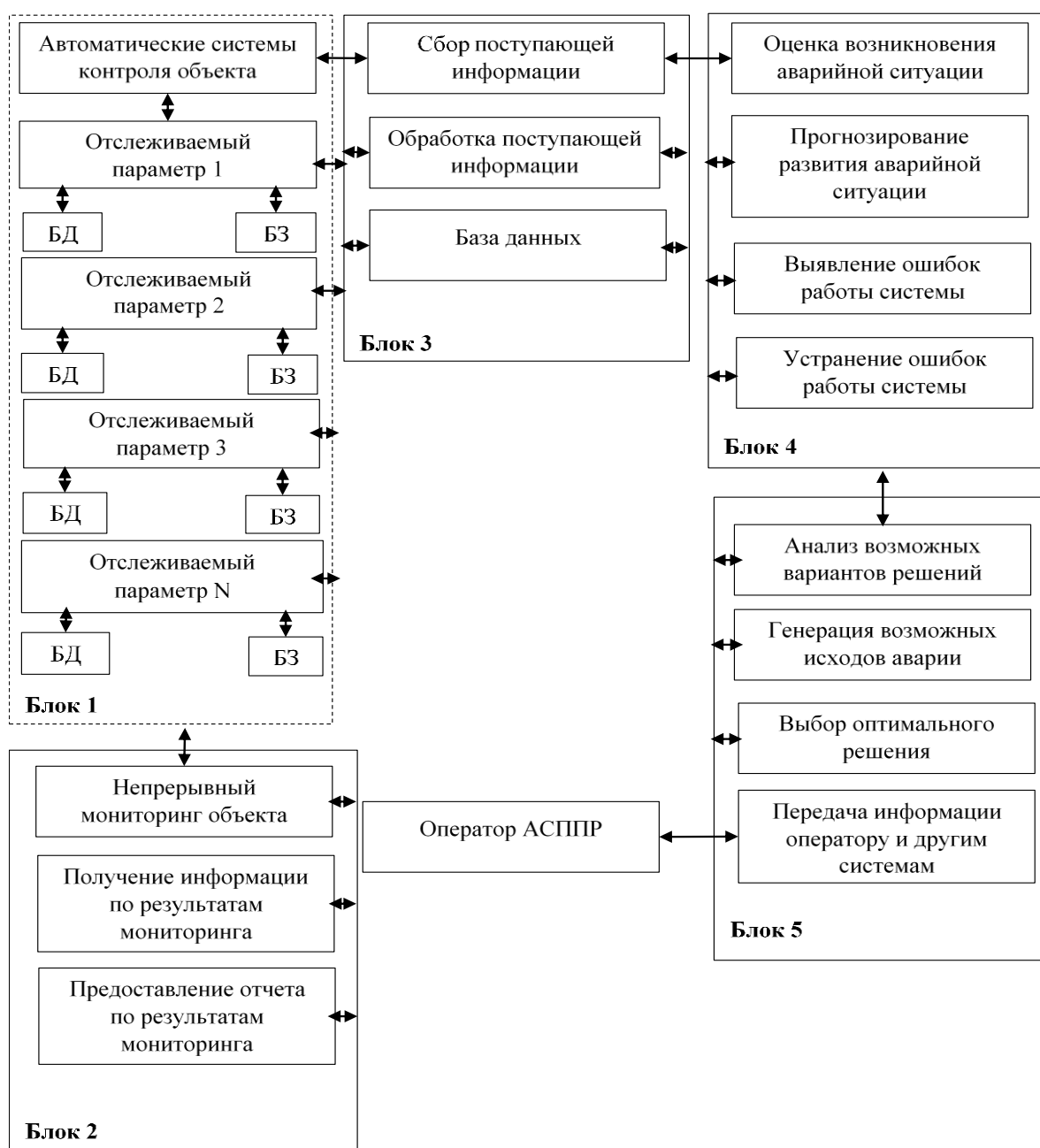


Рис.2. Структурно-функциональная схема автоматизированной системы поддержки принятия решений на объекте хранения сжиженного водородного топлива

Первый блок содержит в себе компоненты, связанные с автоматическими системами контроля взрывопожароопасной ситуации на объекте хранения сжиженного водородного топлива, отслеживающие показатели, указанные в Табл.1.

Второй блок содержит в себе компоненты подсистемы мониторинга и отчетности модульной структуры автоматизированной системы поддержки принятия решений на объекте хранения сжиженного водородного топлива, необходимые для осуществления мониторинга объекта, получение информации по результатам этого мониторинга и составления отчета.

Третий блок реализует в себе подсистему сбора и обработки данных. Данный блок осуществляет сбор и обработку поступающей информации, а также пополняет базу данных для хранения статистических данных об объекте.

Четвертый блок реализует подсистему адаптивного контроля и оптимизации, и содержит в себе компоненты, необходимые для оценки и прогнозирования сложившейся ситуации на объекте, также компоненты «Выявление ошибок работы системы» и «Устранение ошибок работы системы» позволяют выявить ошибки в работе автоматизированной СППР и исправить их.

Пятый блок реализует подсистему управления и контроля. Данный блок способен производить анализ, сложившейся ситуации, делать генерацию возможных исходов, производить выбор оптимального решения и осуществлять передачу оператору и другим системам информации.

Заключение

Разработанная автоматизированная СППР позволяет проводить оперативный анализ нештатного отклонения внутренних и внешних факторов, влияющих на безопасность реализации технологических процессов хранения сжиженного водородного топлива, вести непрерывный мониторинг параметров основного оборудования этого объекта, а также анализировать текущую пожароопасную ситуацию, прогнозировать дальнейшее ее развитие и формировать предложения по минимизации взрывопожарных рисков на объекте защиты.

Таким образом, результаты, полученные в процессе разработки автоматизированной системы поддержки принятия решений, позволяют утверждать, что использование предложенной системы способствует повышению уровня эффективности диагностирования и прогнозирования, а также принятия оптимального решения, что в свою очередь способствует снижению рисков возникновения взрывопожароопасной ситуации на производственном объекте хранения сжиженного водородного топлива.

Список источников

1. Дорожко И.В. Модель системы поддержки принятия решений для диагностирования бортовых систем космического аппарата на основе байесовских сетей / Дорожко И.В., Иванов О.А. // Труды МАИ – 2021. - №118. – С. 1-27.
2. Домашенко А.М. Взрывопожароопасность при создании и эксплуатации промышленных систем получения, хранения и транспортирования жидкого водорода. Методы обеспечения защиты / Домашенко А.М., Степанов А.В. // Повышение надежности и безопасности объектов газовой промышленности – 2022. - №2 (51). – С. 211-220.
3. Иванов М.Ф. Воспламенение водородно-воздушной смеси вблизи нижнего концентрационного предела / Иванов М.Ф., Киверин А.Д., Смыгина А.Е. // Вестник Московского государственного технического университета им. НЭ Баумана. Серия «Естественные науки». – 2013. - №1(48). – С.89-107.
4. Салуа Б., Мунира Р. и М. М. 2019 Риски пожара и взрыва на нефтехимическом предприятии: оценка, моделирование и анализ последствий. Анал. Предыдущая глава 19.
5. Уффрух Л. А., Чайб Р., Ион В. и Хочмане Л. 2018 Анализ рисков и усиление технических барьеров безопасности: применение нефтеперерабатывающего комплекса Skikda (Алжир) World J. Eng. 99-1096.
6. Дорожко И.В. Методический подход к разработке системы поддержки принятия решений оператора автоматизированной системы управления технологическими процессами на основе динамических байесовских сетей / Дорожко И.В., Горохов Г.М., Кириллов И.А. // Труды МАИ – 2022. – С.1-36.
7. Ригас Ф., Склавунос С. Оценка опасностей, связанных с хранилищами водорода // Международный журнал водородной энергетики 30 (2005) С. 1501-1510.
8. Горячева, М. О. Анализ проблемы снижения пожарного риска на объектах водородной энергетики и нефтегазового комплекса / ГорячевМ. О. а, Актерский Ю. Е., Минкин Д. Ю. // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2022. – № 4(64). – С. 55-61.
9. Мехоношина М.О. Мониторинг и предупреждение чрезвычайных ситуаций на инфраструктурных объектах транспортных систем на водородном топливе / МехоношинМ.О. а, Актерский Ю.Е., Шидловский Г.Л. // Материалы Международной научно-практической

конференции «Транспорт России: проблемы и перспективы -2023» 14-15 ноября 2023г. - С. 179-181.

10. Горячева, М. О. Адаптивная система снижения пожарного риска на опасных объектах водородной энергетики и нефтегазового комплекса / Горячева М. О. // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: Сборник материалов X всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 20 апреля 2023 года. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023.– С. 167-170.

Reference

1. Dorozhko I.V. Model' sistemy podderzhki prinyatiya reshenij dlya diagnostirovaniya bortovyh sistem kosmicheskogo apparata na osnove bajesovskih setej / Dorozhko I.V., Ivanov O.A. // Trudy MAI – 2021. - №118. – S. 1-27.

2. Domashenko A.M. Vzryvopozharoopasnost' pri sozdanii i ekspluatatsii promyshlennyh sistem polucheniya, hraneniya i transportirovaniya zhidkogo vodoroda. Metody obespecheniya zashchity / Domashenko A.M., Stepanov A.V. // Povyshenie nadezhnosti i bezopasnosti ob"ektov gazovoj promyshlennosti – 2022. - №2 (51). – S. 211-220.

3. Ivanov M.F. Vosplamnenie vodorodno-vozdushnoj smesi vblizi nizhnego koncentracionnogo predela / Ivanov M.F., Kiverin A.D., Smygalina A.E. // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. NE Baumana. Seriya «Estestvennye nauki». – 2013. - №1(48). – S.89-107.

4. Saloua B., Mounira R. and M M 2019 Fire and Explosion Risks in Petrochemical Plant: Assessment, Modeling and Consequences Analysis J. Fail. Anal. Prev. 19.

5. Ouffroukh L. A., Chaib R., Ion V. and Khochmane L 2018 Analysis of risk and the strengthening of the safety technical barriers: Application of Skikda (Algeria) oil refining complex World J. Eng. 99-109.

6. Dorozhko I.V, Metodicheskij podhod k razrabotke sistemy podderzhki prinyatiya reshenij operatora avtomatizirovannoj sistemy upravleniya tekhnologicheskimi processami na osnove dinamicheskikh bajesovskih setej / Dorozhko I.V., Gorohov G.M., Kirillov I.A. // Trudy MAI – 2022. – S.1-36.

7. Rigas F., Sklavounos S. Evaluation of hazards associated with hydrogen storage facilities // International Journal of Hydrogen Energy 30 (2005) C. 1501-1510.

8. Goryacheva, M. O. Analiz problemy snizheniya pozharnogo riska na ob"ektah vodorodnoj energetiki i neftegazovogo kompleksa / Goryacheva M. O., Akterskij Yu. E., D. YU. Minkin // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. – 2022. – № 4(64). – S. 55-61.

9. Mekhonoshina M.O. Monitoring i preduprezhdenie chrezvychajnyh situacij na infrastrukturnyh ob"ektah transportnyh sistem na vodorodnom toplive / Mekhonoshina M.O., Akterskij Yu.E., SHidlovskij G.L. // Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Transport Rossii: problemy i perspektivy -2023» 14-15 noyabrya 2023g. - S. 179-181.

10. Goryacheva, M. O. Adaptivnaya sistema snizheniya pozharnogo riska na opasnyh ob"ektah vodorodnoj energetiki i neftegazovogo kompleksa / Goryacheva M. O. // Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya inzhenernyh sistem obespecheniya pozharnoj bezopasnosti ob"ektov: Sbornik materialov X vserssijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Ivanovo, 20 aprelya 2023 goda. – Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2023. – S. 167-170.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 24.05.2024; одобрена после рецензирования 05.06.2024; принята к публикации 17.06.2024.

The article was submitted 24.05.2024, approved after reviewing 05.06.2024, accepted for publication 17.06.2024.