

Научная статья  
УДК 614.8  
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.92.57.004

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ГОРЮЧЕЙ СРЕДЫ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ НА ОСНОВЕ СИНТЕЗА ПОЖАРНОЙ АВТОМАТИКИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АЛГОРИТМА

*Денис Сергеевич Королев<sup>1</sup>,  
Сергей Александрович Кончаков<sup>2</sup>,  
Алексей Сергеевич Смирнов<sup>3</sup>,  
Николай Викторович Мартинович<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

<sup>2</sup>Академия Государственной противопожарной службы ГПС МЧС России, Москва, Россия

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup>Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия

*Автор ответственный за переписку: Николай Викторович Мартинович, martin-nv@mail.ru*

**Аннотация.** В статье рассматривается одно из важнейших направлений развития нефтегазовой отрасли страны, а именно переход от сырьевого кластера к переработки кислородсодержащих углеводородов. Отмечено, что технологические процессы: пиролиза, дегидрирования и т.д. на установках I и II категории постоянно совершенствуются, тем самым повышается их эффективность и одновременно уровень взрывоопасности. Авторы статьи провели анализ пожарной опасности, определили наиболее характерные источники зажигания, горючую среду и предложили предиктивную концепцию, позволяющую установить вероятность возникновения неконтролируемого горения в период пиролиза и тления полимеров, синтетических материалов. Такой подход реализуется при помощи интеллектуального алгоритма обработки консолидированной информации от интегрированной системы газоанализаторов и автоматической пожарной сигнализации.

**Ключевые слова:** пожарная безопасность, система, алгоритм, технологический процесс, вероятность

**Для цитирования:** Королев Д.С., Кончаков С.А., Смирнов А.С., Мартинович Н.В. Совершенствование способа предотвращения образования горючей среды в нефтегазовой отрасли на основе синтеза пожарной автоматики и интеллектуального алгоритма // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 1 (24). С. 29-36.  
<https://dx.doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2022.92.57.004>.

Original article

## IMPROVING THE METHOD OF PREVENTING THE FORMATION OF A COMBUSTIBLE ENVIRONMENT IN THE OIL AND GAS INDUSTRY BASED ON THE SYNTHESIS OF FIRE AUTOMATION AND AN INTELLIGENT ALGORITHM

*Denis S. Korolev<sup>1</sup>,  
Sergei A. Konchakov<sup>2</sup>,  
Aleksey S. Smirnov<sup>3</sup>,  
Nikolai V. Martinovich<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>*Voronezh state technical university (high school), Voronezh, Russia*

<sup>2</sup>*Academy of the State Fire Service of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia*

<sup>3</sup>*Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia*

<sup>4</sup>*Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia*

**Corresponding author:** *Nikolai V. Martinovich, martin-nv@mail.ru*

**Abstract.** The article considers one of the most important directions of the development of the country's oil and gas industry, namely the transition from a raw material cluster to the processing of oxygen-containing hydrocarbons. It is noted that technological processes: pyrolysis, dehydrogenation, etc. at installations of category I and II are constantly being improved, thereby increasing their efficiency and at the same time the level of explosion hazard. The authors of the article analyzed the fire hazard, identified the most characteristic ignition sources, the combustible medium and proposed a predictive concept that allows us to establish the probability of uncontrolled combustion during pyrolysis and smoldering of polymers, synthetic materials. Gorenjesus, the authors of the article, conducted a fire hazard analysis, identified the most characteristic ignition sources, the combustible medium and proposed a predictive concept that allows us to establish the probability of uncontrolled combustion during pyrolysis and smoldering of polymers, synthetic materials. This approach is implemented using an intelligent algorithm for processing consolidated information from an integrated system of gas analyzers and automatic fire alarm.

**Key words:** fire safety, system, algorithm, technological process, probability

**For citation:** Korolev D.S., Konchakov S.A., Smirnov A.S., Martinovich N.V. Improving the method of preventing the formation of a combustible environment in the oil and gas industry based on the synthesis of fire automation and an intelligent algorithm // Siberian Fire and Rescue Bulletin 2022. № 1 (24). С. 29-36. <https://dx.doi.org/vestnik.sibpsa.2022.92.57.004>.

Эксперты отмечают, что перспективным направлением развития Российской Федерации в энергетической сфере является нефтегазовая отрасль. Солидарны с таким мнением и глобальные мировые компании (ExxonMobil, Shell, Total, Газпром, INEOS), которые видят большие перспективы в переработке углеводородов, вкладывая во взрывопожароопасные технологические процессы более 40 миллиардов долларов в год, призывая минимизировать исключительно сырьевой сектор [1].

Уже сейчас совокупно тратится порядка 22 % мирового производства нефти и природного газа на получение различной продукции. В качестве примера отметим некоторые взрывоопасные сегменты углеводородной переработки:

– производство азотных удобрений (свыше 200 миллионов тонн в год) - конечный продукт не содержит углерод, но основу, которых составляет азот, выделяемый из атмосферы и водород, получаемый пиролизом природного газа через серию превращений, а газ является еще и источником энергии [2];

– производство метанола (свыше 4,5 миллионов тонн в год), получаемый путем термического разложения природного сырья, причем в настоящее время расширяются границы использования ЛВЖ не только в химической промышленности, но и в транспортном сегменте,

– в качестве топлива [3];

– не менее взрывоопасными являются процессы газохимической переработки, где лидерами их реализации являются Амурский и Балтийский ГПЗ. Так, например, ожидается после выхода Амурского ГПЗ на проектную мощность производство 38 млрд м<sup>3</sup> метана ежегодно будет экспортироваться по «Силе Сибири» в Китай, а 2,4 млн т этана, 1 млн т пропана и 500 000 т бутана – направляться для производства полимеров на Амурский газохимический комплекс.

На российских предприятиях технологическое оборудование сконфигурировано таким образом, что обеспечивается бесперебойная переработка нефтегазопродуктов, бензиновых фракций, газоконденсатов, а также проводится каталитический риформинг нефтяных дистиллятов и керосино-газойлевых фракций, после чего получают: олефины (низшие), этилен (популярный полимер), пропилен, бутилен, бутадиен и др. [4].

Описанные выше процессы очень важны для экономики России, поскольку этилен, в частности, применяется в производстве оксирана (окиси этилена), соответствующего спирта, различных пластмасс и полимеров типа полиэтилена, фенилэтилена и др., а, например, пропилен, представляет собой исходный мономер для полипропилена, акрилонитрила и бутадиена (табл.), формула (1) – (5):



**Таблица. Применение полимеров [5]**

№ п/п	Полимер	Применение
1.	поливинилхлорид	оконные профили, пластиковые трубы, пленки, линолеум и т.д.
2.	синтетические каучуки	производство шин и др.
3.	полиэтилентерефталат	ПЭТФ, бутылки для напитков и др.
4.	этилен	сырье для получения различных полимеров
5.	полиэтилен, пропилен	различная упаковка и др.
6.	полистерол	в строительной и мебельной отраслях
7.	акрилонитрил	в производстве полиакрилонитрильных волокон, АБС-пластиков, бутадиен-нитрильного каучука, сополимеров с винилхлоридом

В ходе технологического процесса (рис. 1), отмечено, что при получении полимерных продуктов, в той или иной степени, образуется небольшое количество жидкого легко воспламеняющегося вещества, основными компонентами которого являются моноциклические (бензол, толуол, ксилол и др.) и полициклические (нафталин, антрацен и др.) ароматические углеводороды.

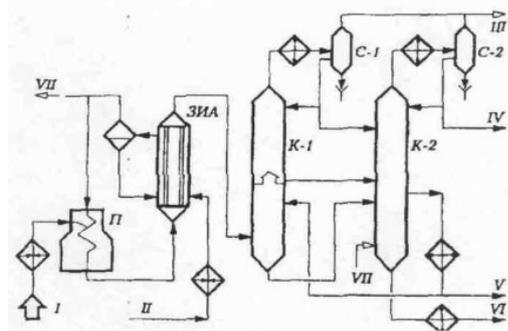


Рис. 1. Принципиальная схема установки пиролиза углеводородов (I - сырье; II - конденсат; III - газы пиролиза; IV - бензиновая фракция (н.к. - 150 0С); V - легкая смола; VI - тяжелая смола; VII - водород)

В некоторых случаях, для повышения объема получаемого продукта, исходное сырье пиролиза разбавляют водородом, тем самым еще сильнее повышая пожарную опасность технологического процесса, что в целом и так сопряжено с высоким риском возникновения пожаров и взрывов. Поскольку технологический процесс переработки углеводородного сырья (каталитический крекинг (свыше 5000С), термический крекинг (свыше 8000С), пиролиз (800 - 15000С), дегидрирование (6500С)) относится к эндотермическим процессам, где протекание химических реакций осуществляется в условиях высоких температур.

Предварительный анализ опасностей и определение причин возникновения пожароопасных ситуаций позволяет выделить основные типовые события, реализация которых может привести к образованию горючей среды и появлению источника зажигания (Рис. 2).



Рис. 2. Основные типовые события, которые могут привести к пожароопасной ситуации на объектах газохимической переработки

В целях уменьшения вероятности наступления рискованного события и минимизация последствий его возможного наступления, в Российской Федерации предусмотрены механизмы технического регулирования, вопросов как проектирования, так и эксплуатации объектов. Одним из основополагающих нормативных правовых актов является Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [5] определяющий необходимость создания системы обеспечения пожарной безопасности (СОПБ) на каждом объекте. Нормативно определены обязательные элементы системы, включающие: систему предотвращения пожара, систему противопожарной защиты, комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности (Рис.3).

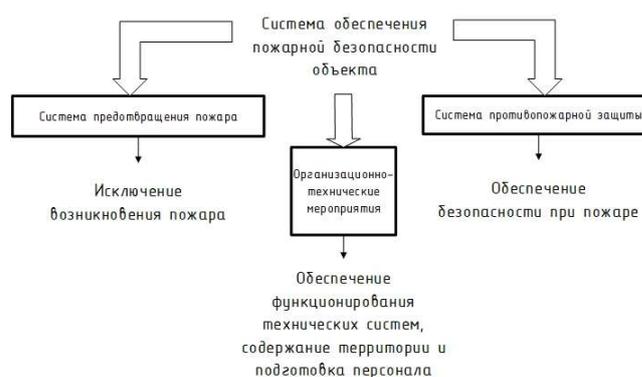


Рис. 3. Основные элементы СОПБ

Необходимо отметить что способы достижения целей элементов СОПБ определены нормативно в положениях Федерального закона [5]. Каждый элемент системы отвечает своим определённым целям и как правило функционирует независимо, представляя собой в основном закрытую систему. Традиционно при формировании структуры СОПБ объекта основной системы является система противопожарной защиты целью которой является защита людей и имущества от воздействия опасных факторов пожара и (или) ограничение его последствий. В свою очередь системы предотвращения пожара и выполнение организационно-технических мероприятий рассматриваются как правило, как вспомогательные элементы обеспечивающие успешное функционирование ядра системы.

В состав системы противопожарной защиты согласно ст. 52 [5] принято включать и элементы автоматической противопожарной защиты (устройство систем обнаружения пожара (установок и систем пожарной сигнализации), оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре; устройство аварийного слива пожароопасных жидкостей и аварийного стравливания горючих газов из аппаратуры; устройство на технологическом оборудовании систем противозрывной защиты; применение автоматических и (или) автономных установок пожаротушения).

В зарубежной литературе в рамках концепции «Critical Infrastructure Resilience» (CIR) (жизнеспособность критической инфраструктуры) за рубежом [6-8] данный традиционный подход получил название Safety I. Основой данного традиционного подхода (концепции Safety I) безопасность оценивается, как отсутствие нежелательных последствий и отчетливых признаков опасности, представляя бимодальные сведения о режиме функционирования системы в критериях: «опасно (неправильно)» и «безопасно (правильно)». Это приводит к тому, что управленческое решение по реагированию происходит, тогда, когда что-то случается или определяется, как неприемлемый риск. Другими словами, элемент системы СОПБ - противопожарная защита активизируется, когда негативное событие уже произошло.

Один из перспективных подходов обеспечения безопасности (Safety II) предлагается шведским ученым Эриком Холлнагелем (Erik Hollnagel) [9]. Подход Safety II, подходит с позиции мульти-модальности функционирования системы, основываясь на принципе мониторинга как сбоя системы, так и нормальной её работы, прогнозирования событий и направления их развития. В рамках реализации концепции Safety II происходит смещение акцентов при проектировании СОПБ объекта с системы противопожарной защиты на систему предотвращения пожара, при этом основной упор при контроле делается на выявление точек процесса с высокой вариативностью и сложностью, наличие которых характерно на объектах нефтегазовой отрасли [10] (Рис.4).



Рис.4. Применения различных концепций при формировании СОПБ объекта

Согласно положениям, ст. 48 [5] целью создания систем предотвращения пожаров является исключение условий возникновения пожаров. Исключение условий возникновения пожаров достигается исключением условий образования горючей среды и (или) исключением условий образования в горючей среде (или внесения в нее) источников зажигания. Реализация нормативно определенных способов достижения целей системы (ст. 49,50 [5]) обуславливает широкий спектр технических средств мониторинга среды и контроля параметров технологического процесса применяемых именно в рамках СОПБ объекта.

Таким образом, определение перечня важных параметров конкретного технологического процесса, которые могут являться причиной пожароопасной ситуации, позволяет своевременно и оперативно регистрировать данные события, не дожидаясь появления опасных факторов пожара (дым, повышенная температура и т.д.) и активации системы противопожарной защиты.

В настоящий время в мире комплексное развитие цифровых технологий, основанных на создании киберфизических систем (cyber-physical system - CPS), позволяет говорить о новом историческом поворотном моменте в истории развития человечества и перехода на новый технологический уклад [11].

По классификации отечественных ученых данный этап развития назван «Шестым технологическим укладом» [12], за рубежом более известен как «Индустрия 4.0» [13]. Технологии «Индустрии 4.0» вносят существенный вклад в повышение безопасности производства и совершенствование охраны труда на предприятиях, повышения эффективности в сфере управления ресурсами и логистическими процессами предприятия. Цифровые инструменты также сокращают логистические издержки, помогают эффективнее планировать маршруты, контролировать загрузку транспорта, точнее расставляют приоритеты логистических операций в масштабах всего предприятия [14].

Использование технологий класса Индустрия 4.0 позволяет проводить обработку больших данных и выявить скрытые взаимосвязи в области организации технического обслуживания и проведения планово-предупредительных ремонтов оборудования позволяют выстраивать прогностические модели и помогают оценить реальную потребность в обслуживании и ремонте и оптимизировать эти процессы.

Для нефтегазоперерабатывающих взрывоопасных производств, критически важным является применение цифровых технологий нового класса, наличие современной цифровой автоматизированной системы управления технологическим процессом [15], представляющую сеть взаимосвязанных кабельных и радиоканалов: контроллеры, программы управления, пожарную автоматику, серверные (базы данных), источники бесперебойного питания, выполненные во взрывопожарозащищенном исполнении [16].

В качестве примера технического способа решения поставленной задачи является применение современного цифрового подхода, основанного на использовании интеллектуального алгоритма обработки информации и газоанализатора. Похожим методом повышения уровня пожарной безопасности является способ анализа физико-химических свойств веществ разлива на сливноналивной эстакаде посредством газоанализатора [17]. Отличительными особенностями предлагаемого способа является возможность экспрессного определения параметров компонента, вышедшего наружу: токсичность, агрессивность и другие показатели необходимые для оценки пожарной опасности события. Исходя из полученной информации и представление ее дежурному оператору, принимается решение по оповещению персонала об опасности и необходимости эвакуации посредством системы пожарной сигнализации и оповещения. При реализации предлагаемого подхода обеспечивается фактическая связь технических средств системы предотвращения пожара с техническими средствами системы противопожарной защиты, реализуя комплексный подход обеспечения безопасности.

В основе решения реализуемого в предлагаемой системе положено использование сложных многослойных искусственных нейронных сетей, где уровень абстракции постепенно увеличивается за счет нелинейных преобразований входных данных [18]. При данном подходе

реализуется модель обратного распространения ошибки в совокупности с прямой связью. В этом случае движение осуществляется в одном направлении от входа к выходу. Алгоритм реализован на базе Python 2.7.10 [Anaconda 2.3.0 (64 - bit)] default, May 28.2015 MSC v. 1500 64 bit (AMD 64) on win 32.

Блок управления должен функционировать в круглосуточном режиме, обеспечивая связь с газоанализирующим оборудованием по интерфейсу RS – 485. В качестве резервного канала связи должна быть предусмотрена беспроводная структура с динамической маршрутизацией. Питание системы осуществляется по первой категории электроприемников от сети 220 В. Для организации резервного питания необходимо предусмотреть АКБ, соответствующей емкости.

Данное малобюджетное решение работает практически с любой системой пожарной сигнализации, активация системы осуществляется «сухим контактом» при импульсе 24 В. При поступлении сигнала от газоанализаторов в момент тления или пиролиза, формируется звуковое сообщение. Если полученные значения концентрации превышают допустимые значения, то дежурный оператор транслирует данное сообщение во все зоны здания для эвакуации людей тем самым активируется система противопожарной защиты.

Таким образом, авторами предлагается в рамках новых инновационных концепций модернизировать подходы к построению системы обеспечения пожарной безопасности, путем совершенствования методов контроля концентрации выделяемых продуктов при пиролизе и тлении сырья или готовых продуктов при формировании решений и способов достижения целей систем предотвращения пожаров и исключения условий возникновения пожаров.

#### Список источников

1. Обзор российских нефтегазовых проектов. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://journal.tinkoff.ru/neftegaz/> (дата обращения: 10.01.2022).
2. Фецкова В., Гусева Т.В. Повышение энерго- и ресурсоэффективности производства азотных удобрений / В. Фецкова, Т.В. Гусева// Химическая промышленность сегодня. 2011. № 9. С. 44-47.
3. Мещеряков Г.В., Комиссаров Ю.А. Конверсия природного газа для совместных производств метанол-водород, метанол-аммиак / Г.В. Мещеряков, Ю.А. Комиссаров // Вестник МИТХТ им. М.В. Ломоносова. 2011. Т. 6. № 4. С. 72-76.
4. Шерматова З., Шарофитдинов И. Современная технология получения пиролизного кокса для утилизации газов в процессе / З. Шерматова, И. Шарофитдинов // Актуальные научные исследования в современном мире. 2020. № 2-1 (58). С. 165-169.
5. Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 № 123-ФЗ [Электронный ресурс]: – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_78699/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/) (дата обращения: 10.01.2022).
6. Labaka, L., Hernantes, J., Sarriegi J.M. 2015. Resilience framework for Critical Infrastructures: An Empirical Study in a Nuclear Plant. Reliability Engineering and System Safety, 141:92–105
7. Cassotta S., Sidortsov R., Pursiainen C., Goodsite M.E. 2019. Cyber Threats, Harsh Environment and the European High North (EHN) in a Human Security and Multi-Level Regulatory Global Dimension: Which Framework Applicable to Critical Infrastructures under «Exceptionally Critical Infrastructure Conditions» (ECIC)? .Beijing Law Review, 10: 317–360.
8. Pursiainen C.H., Rød B., Baker G., Honfi D., Lange D. 2017. Critical Infrastructure Resilience Index: in book «Risk, Reliability and Safety: Innovating Theory and Practice». CRC Press, 2183–2189.
9. Hollnagel E. 2014. Safety-I and Safety-II. The Past and Future of Safety Management. Ashgate, England, 187
10. Анализ подходов при решении задач оценки рисков в рамках современных концепций / И. Ю. Сергеев, Ю. И. Молотков, Н. В. Мартинович

- [и др.]/Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2021. – № 4(23). – С. 104-108. – DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.62.18.013
11. Развитие инновационной деятельности в области обеспечения пожарной безопасности на современном этапе / М. В. Петухова, Н. В. Мартинович, Е. И. Власенко [и др.] // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2021. – № 4(23). – С. 142-151. – DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.28.83.017.
  12. Глазьев С.Ю. Перспективы становления в мире нового VI технологического уклада // МИР. 2010. №2 (апрель–июнь). С. 4-10. Львов Д.С., Глазьев С.Ю. Теоретические и прикладные аспекты управления НТП // Экономика и математические методы. 1986. № 5. С. 793–804. Львов Д.С. Эффективное управление техническим развитием. М.: Экономика, 1990. 255 с
  13. Шваб К. Четвертая промышленная революция. М.: «Эксмо», 2016. 138 с. Шваб К., Дэвис Н. Технологии четвертой промышленной революции / Пер. с англ. М.: Эксмо, 2018. 320 с.
  14. Петухова, М. В. Инновационная и научная деятельность, как элемент национальной безопасности России / М. В. Петухова, Н. В. Мартинович, Е. И. Власенко // Актуальные проблемы безопасности в техносфере. – 2021. – № 1(1). – С. 19-22.
  15. Королев Д.С. Экосистема пожарной безопасности и способы ее развития / Д.С. Королев // Техносферная безопасность. 2021. № 2 (31). С. 3-10.
  16. Правила устройства электроустановок. [Электронный ресурс]:– Режим доступа: [https://www.elec.ru/viewer?url=/library/direction/pue\\_7.pdf](https://www.elec.ru/viewer?url=/library/direction/pue_7.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).
  17. Королев Д.С., Минкин Д.Ю. Методика работы интегрированной цифровой системы пожарной автоматики с газоанализирующим оборудованием / Д.С. Королев, Д.Ю. Минкин // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 1 (57). С. 32-38.
  18. Королев Д.С. Интеллектуальный нейросетевой алгоритм обработки и управления данными (Нейропакет КДС 3.0), свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2021617319 от 13.05.2021; Заявка № 2021616430 от 27.04.2021.
  19. Назаров, А. А. Определение комплексного показателя защищенности на основе исследования системы защиты населения и территории от техногенных рисков / А. А. Назаров, Н. В. Мартинович, А. А. Мельник // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2020. – № 2(54). – С. 94-103.

#### **Информация об авторах**

Д.С. Королев - кандидат технических наук

С.А. Кончаков - кандидат технических наук

А.С. Смирнов - доктор технических наук, профессор

#### **Information about the author**

D.S. Korolev - Ph.D. of Engineering Sciences

S.A. Konchakov - Ph.D. of Engineering Sciences

A.S. Smirnov - Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Engineering Sciences,  
Full Professor

Статья поступила в редакция 10.01.2022; одобрена после рецензирования 10.03.2022; принята к публикации 21.03.2022.

The article was submitted 10.01.2022, approved after reviewing 10.03.2022, accepted for publication 21.03.2022.