

ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2022. Т. 31. № 1. С. 40–48
 POZHAROVZRYVOBEZOPASNOST/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2022; 31(1):40-48

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 681.5

<https://doi.org/10.22227/0869-7493.2022.31.01.40-48>

Подход к моделированию технического обслуживания стационарных термохимических газосигнализаторов на установках НПЗ

Илья Вадимович Самарин✉, Алексей Вячеславович Крючков,
 Андрей Юрьевич Строгонов

Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Отмечена значимость датчиков сигнализаторов дозрывных концентраций в процессе обеспечения необходимого уровня пожарной безопасности (ПБ) на пожаровзрывоопасных объектах нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ). Обозначена проблема принципа размещения датчиков у источников потенциальных утечек. В качестве объекта исследования выбран процесс технического обслуживания (ТО) стационарных термохимических газосигнализаторов и их датчиков, установленных вокруг открытых технологических установок (ОТУ).

Теоретические основы. Введено понятие дисциплины технического обслуживания (ТО) стационарных термохимических газосигнализаторов. Обоснован выбор данного типа приборов по классификации в соответствии с физическими методами анализа. ТО в качестве процесса обеспечения ПБ на объектах НПЗ зависит от параметров окружающей среды, метеорологических параметров, параметров технологического оборудования. Выделение в процессе переработки нефти на ОТУ каталитических ядов, негативно влияющих на чувствительные элементы (ЧЭ) термохимических датчиков, а также погодные условия обуславливают снижение интервалов калибровки или ускоренный выход из строя ЧЭ. Воздействие факторов среды влечет за собой корректировку сроков калибровки датчиков с учетом регламентированных значений, зафиксированных в рабочей документации.

Результаты исследования. Определены цели для значений функции групп параметров, обосновывающих проведение мероприятий для поддержания датчиков в требуемом документацией состоянии. Критерий оценки дисциплины ТО выражен через вектор целевых функций, отражающих зависимости групп параметров: климатических, работы персонала, специфических, прочих. Интегральный критерий эффективности ТО задан в виде прямоугольной матрицы и свертки, учитывающей три вектора целевых функций. Дисциплина ТО газосигнализаторов представлена в виде дискретного созидательного подпроцесса процесса обеспечения ПБ.

Выводы. Рассмотрен подход к моделированию дисциплины ТО стационарных термохимических газосигнализаторов, установленных вокруг ОТУ НПЗ. Отмечена необходимость оценки пространственного расположения датчиков газосигнализаторов с целью определения их количества в зависимости от периметра ОТУ НПЗ.

Ключевые слова: нефтеперерабатывающий завод; автоматизированная система управления технологическими процессами; пожарная безопасность; термохимический датчик; открытая технологическая установка; техническое обслуживание; чувствительный элемент

Для цитирования: Самарин И.В., Крючков А.В., Строгонов А.Ю. Подход к моделированию технического обслуживания стационарных термохимических газосигнализаторов на установках НПЗ // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2022. Т. 31. № 1. С. 40–48. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.01.40-48

✉ Самарин Илья Вадимович, e-mail: ivs@gubkin.ru

An approach to modeling the maintenance of stationary thermochemical gas analyzers at an oil refinery

Ilya V. Samarin✉, Alexey V. Kryuchkov, Andrey Yu. Strogonov

National University of Oil and Gas "Gubkin University", Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The authors draw attention to the importance of the pre-explosive concentration detectors to assure the fire safety (FS) of fire and explosion hazardous facilities at oil refineries. The problem of the principle of placing

detectors close to sources of potential leaks is identified. The subject of research is the process of the maintenance of stationary thermochemical gas analyzers and their detectors installed around open-air facilities (OAF).

Theoretical fundamentals. The notion of the discipline of the maintenance of stationary thermochemical gas analyzers is addressed in this section. The authors justify the choice of this type of devices according to the classification based on physical methods of analysis. Maintenance as a process, focused on the fire and explosion safety at oil refineries, depends on environmental and meteorological parameters, as well as the parameters of the process equipment. The release of catalytic poisons in the process of oil refining at OAFs, which negatively affect the sensitive elements (SE) of thermochemical detectors, and weather conditions may reduce calibration adjustment intervals or cause an accelerated failure of sensitive elements. The impact of environmental factors makes it necessary to adjust the detector calibration dates with account taken of the standard ones specified in the engineering documentation.

Research results. The work sets the goals in terms of the values of the function of groups of parameters that substantiate the implementation of measures focused on the maintenance of detectors in the condition required by the documentation. The maintenance evaluation criterion is expressed as a vector of objective functions that convey the dependencies between groups of climatic, personnel work performance, specific, and other parameters. The integral criterion of the maintenance efficiency is provided in the form of a rectangular matrix and a convolution that takes into account three vectors of objective functions. The discipline of the maintenance of gas analyzers is presented in the form of a discrete subprocess of the process of fire and explosion safety assurance.

Conclusions. This research work addresses an approach to modeling the discipline of the maintenance of stationary thermochemical gas analyzers installed around the open-air facilities (OAF) of an oil refinery. In further studies it is necessary to analyze the spatial location of the gas analyzer detectors to determine their number depending on the perimeter of the oil refinery's open-air facilities.

Keywords: oil refinery; automated process control system; fire safety; thermochemical detector; open-air facility; maintenance, sensitive element

For citation: Samarin I.V., Kryuchkov A.V., Strogonov A.Yu. An approach to modeling the maintenance of stationary thermochemical gas analyzers at an oil refinery. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2022; 31(1):40-48. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.01.40-48 (rus).

✉ Ilya Vadimovich Samarin, e-mail: ivs@gubkin.ru

Введение

Одними из наиболее значимых мер для предотвращения пожаров и взрывов на объектах нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) являются способы информирования дежурной смены о состоянии среды в зоне их ответственности. Практики предупреждения, наискорейшего обнаружения и устранения источника возгорания на предприятиях повышенной пожарной опасности непрерывно совершенствуются [1–3]. Как правило, необходимые для мониторинга и анализа данные передают датчики сигнализаторов, устанавливаемые во всех критически важных с точки зрения возникновения опасных ситуаций местах внутри контролируемой зоны. Датчики газосигнализаторов являются первым звеном информирования в системах раннего обнаружения и предупреждения пожаров. Их готовность к использованию становится ключевым фактором обеспечения пожарной безопасности (ПБ), особенно с учетом ограниченного особыми условиями ресурса [4]. Отсутствие точных указаний на месторасположение датчиков связано с тем, что заранее определить места их размещения на объектах НПЗ затруднительно. Это связано с большой номенклатурой газов, которые необходимо обнаружить, различными окружающими условиями, значениями температур и давлений. Общий принцип — размещать «как можно ближе» к источникам

потенциальных утечек¹. Способ размещения датчиков сигнализаторов дозврывных концентраций на открытых технологических установках (ОТУ) на сегодняшний день регламентируют «Требования к установке сигнализаторов и газосигнализаторов (ТУ-газ-86)»². Однако документ содержит лишь примерный порядок размещения датчиков на открытых установках двух типов (шириной до 30 м и более 30 м), а также указания о его минимальном радиусе обслуживания. 1 января 2021 года вступил в силу приказ³. Согласно этому приказу, места расположения средств автоматического непрерывного газового контроля и анализа с сигнализацией для контроля загазованности в рабочей зоне открытых наружных установок устанавливаются и обосновываются в проектной документации в соответствии с техни-

¹ Рукин М.В. Пожарная безопасность химически-опасных производств и объектов хранения. URL: <http://ervist.info/support/publikatsii/item/320-pozharnaya-bezopasnost-himicheski-opasnyh-proizvodstv-i-obektov-hranieniya.html> (дата обращения: 21.02.2021).

² Требования к установке сигнализаторов и газосигнализаторов, ТУ-газ-86. М., 1986. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/9/9177/> (дата обращения: 16.02.2021).

³ Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств»: Приказ от 15 декабря 2020 года № 533. URL: <http://docs.cntd.ru/document/573200380> (дата обращения: 16.02.2021).

ческими характеристиками средств (приборов), указанных в паспортах организации-изготовителя. То есть в соответствии с различными проектами технологических установок на НПЗ места расположения могут быть различны. Довольно важным является процесс технического обслуживания (ТО) приборов первого уровня информирования в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУТП). ТО включает в себя некоторый комплекс мероприятий по приведению в готовность какого-либо оборудования. В данной работе будем рассматривать ТО средств автоматического газового контроля и анализа, а именно стационарных термохимических газосигнализаторов и их датчиков, установленных вокруг ОТУ. Под ОТУ будем понимать оборудование промышленных предприятий, размещаемое вне производственных зданий (на открытых площадках) [5].

Целью исследования является анализ процедуры ТО датчиков стационарных термохимических газосигнализаторов, установленных вокруг ОТУ НПЗ, и построение возможного математического описания оценки эффективности данной процедуры, зависящей от ряда групп параметров. Данная цель достигается путем решения ряда задач. Одна из них — обоснование выбора именно стационарных газосигнализаторов термохимического принципа действия, используемых в автоматизированных системах предотвращения предпожарных и взрывоопасных режимов для измерения дозврывоопасных концентраций горючих газов и паров, вероятность утечки которых на объектах НПЗ крайне высока. Также в работе уделяется внимание задачам анализа особенностей ТО датчиков газосигнализаторов и описания проблемы принципа размещения датчиков у источников потенциальных утечек, влияющих на процедуру ТО. Отдельной важной задачей является выявление нескольких групп факторов, влияющих на периодичность и длительность дисциплины ТО, которое при регламентном проведении не всегда учитывает реальный расход технического ресурса.

Теоретические основы

Определим теоретический смысл слова «дисциплина» относительно ТО стационарных термохимических газосигнализаторов. Любое ТО — это комплекс мероприятий по приведению в готовность определенного оборудования. В рассматриваемом случае — стационарных термохимических газосигнализаторов. При этом важен способ проведения этих мероприятий. Плановая форма их проведения определена и заложена в руководстве по эксплуатации (РЭ) прибора. Однако в действительности на определенном объекте переработки нефти существует большое количество новых параметров процесса ТО,

которые связаны с учетом новых обстоятельств [6]. Способы изменения, корректировок плановых мероприятий и будет составлять суть понятия «дисциплина ТО».

Рассмотрим, как можно моделировать дисциплину проведения работ внутри процесса ТО стационарных термохимических газосигнализаторов. Дисциплину ТО формирует план и его изменения. Обычно план составляется на основе цели, функции, характеризующей ее достижение, и используемых в ней параметров. Так как стационарные термохимические газосигнализаторы являются сложными техническими системами, целевые функции для различных по целям моделей дисциплин ТО даже для одного элемента такого оборудования будут содержать достаточно большое число параметров. Разбив их на группы, можно упростить целевые функции, не сильно потеряв при этом в точности ее оценки достижения поставленной цели.

Будем считать, что проектные работы по определению мест установки и топологии объекта НПЗ выполнены на высоком уровне, все приборы установлены в полном соответствии с нормативно-технической документацией и в полном соответствии с требованиями к ПБ пожаровзрывоопасных объектов [7]. Открытые площадки, вокруг которых они установлены, не имеют специфических особенностей, при которых могут быть исключены воздействия на чувствительные элементы (ЧЭ) термохимических датчиков определенных погодных условий и агрессивных факторов среды [8].

Существуют различные классификации газосигнализаторов [8, 9]. По конструктивному исполнению различают стационарные и переносные приборы. Стационарные устанавливаются на элементах контроля объекта, а переносные используются персоналом для контроля среды. Переносные приборы находятся в руках человека, который, используя свой опыт, может оперативно действовать для предотвращения опасной ситуации. Стационарные газосигнализаторы контролируют участок местности на объектах НПЗ. Часто удалены от персонала и предназначены для работы в агрессивных с точки зрения ПБ средах в автоматическом режиме. В данной работе рассматриваются именно стационарные газосигнализаторы.

Также газосигнализаторы классифицируют в соответствии с физическими методами анализа. В этой группе приборов различают термохимические, тепловые, электрохимические, оптические, хроматографические, фотоколориметрические газосигнализаторы. Учитывая большое количество моделей и марок приборов и разницу в условиях их установки и эксплуатации в соответствии с климатом местности, где располагается тот или иной объект НПЗ, выберем одну

из применяемых в настоящее время моделей стационарного газосигнализатора. Одним из важных параметров отбора является стоимость, так как существует потребность использования на объектах НПЗ большого количества таких приборов. Вопрос экономии средств всегда актуален. Термохимические приборы наиболее приемлемы по данному параметру [10, 11]. Среди многих газосигнализаторов, применяемых для определения горючих паров или газов, термохимический метод получил наибольшее распространение в мировой практике [12]. В работе [13] при описании структуры автоматизированной системы управления противопожарной защитой нефтеперерабатывающих производств (на примере МНПЗ) для контроля аварийной загазованности на открытых технологических площадках рекомендовано использовать стационарные термохимические многоканальные газосигнализаторы, а именно СТМ-20 (сегодня заводом ФГУП СПО «Аналитприбор» выпускаются усовершенствованные модели). Авторы [14, 15] утверждают, что термохимический метод определения концентрации горючих газов имеет наибольшее распространение в промышленности. Также целесообразность использования газосигнализаторов такого типа для контроля загазованности на объектах нефтепереработки приведена в [16]. Кроме того, согласно технической документации, например⁴, подобные приборы способны контролировать одновременно несколько десятков различных горючих составов, образующих газо- и паровоздушные смеси.

Полученные сведения позволяют сделать выбор (для целей исследования) именно в пользу термохимических газосигнализаторов, работающих по принципу определения энергии окисляемого ими газа с помощью катализатора. При этом можно выделить ряд недостатков: небольшой срок службы, измерение наличия целевого газа только в присутствии кислорода, необходимость частой калибровки нуля и пороговых значений, высокая вероятность выхода из строя в связи с перенасыщением определяемым газом, а также низкая чувствительность и быстрое действие [17–19]. Далее для исследования будем использовать модель СТМ-10.

Для привязки разрабатываемой модели к реальным условиям эксплуатации можно рассматривать Московский нефтеперерабатывающий завод. Практика работы служб завода показывает, что вокруг ОТУ установлены оптические, электрохимические, термохимические газосигнализаторы. Среди термохимических анализаторов распространена выбранная нами модель СТМ-10. Их датчики размещены соглас-

но требованиям² и рекомендациям [13]. ТО выполняется в соответствии с руководством по эксплуатации³.

Применяемая на Московском НПЗ автоматизированная система управления противопожарной защитой обычно содержит следующие типы датчиков: пожарные извещатели, соединенные с преобразователем сигналов, датчики параметров окружающей среды, датчики метеорологических параметров, датчики параметров технологического оборудования, датчики параметров технологического процесса, датчики параметров технического состояния установок пожаротушения, подключенные через преобразователи сигналов к соответствующим входам вычислительного устройства⁵. Указанные приборы служат входными устройствами для важной в рамках текущего исследования системы оповещения о пожаре. Выносные датчики (ВД) газосигнализаторов выбранной модели СТМ-10 должны входить в нее в качестве датчиков параметров технологического процесса. Процесс обеспечения ПБ является одним из технологических процессов на любом объекте переработки нефти и газа. Это подтверждается описанием систем, приводимых в [13].

Приведенное описание говорит о том, что дисциплина ТО как один из технологических процессов (подпроцесса процесса обеспечения ПБ на объектах НПЗ), будет зависеть, как минимум, от следующего ряда факторов: параметров окружающей среды, метеорологических параметров, параметров технологического оборудования. Кроме того, параметры технологического процесса на объектах переработки нефти и газа будут отдельной категорией параметров, влияющих на дисциплину ТО.

Известно, что при ведении работ по переработке нефти на ОТУ в зависимости от состава сырья существуют различные варианты выделения негативно влияющих на ЧЭ термохимических датчиков агрессивных веществ (или каталитических ядов). Они обуславливают снижение интервалов калибровки или ускоренный выход из строя ЧЭ ВД. Помимо этого, на снижение этих интервалов могут влиять погодные условия [20]. Например, чрезмерная влажность воздуха (туман или выпадение росы) может приводить к необходимости слива конденсата. А при выделении различных «производственных» паров может возникнуть необходимость экстренной чистки фильтровального стакана⁴. В указанных случаях мероприятия по калибровке необходимо проводить внеплановым образом. При этом данные изменения в дисциплине ТО не будут зависеть от модели и марки термохими-

⁴ Сигнализаторы СТМ-10. Руководство по эксплуатации. Альбом приложений. АПИ2 840.069 РЭ1. URL: http://www.analitpribor-smolensk.ru/products/bezopasnost_gazoanalizatory/stacionarnye_gazoanalizatory/signalizator_stm10/ (дата обращения: 02.03.2021).

⁵ Пат. РФ № 2666339, МПК А62С 37/00. Автоматизированная система взрывопожарной безопасности на основе газового контроля / Лукьянченко А.А., Свиридов Е.В., Севрюков И.Т., Бедило М.В., Соколов А.В. № 2017138457, заяв. 03.11.2017; опубл. 06.09.2018. Бюл. № 25.

ческого газосигнализатора. Но для более конкретного рассмотрения деталей процесса ТО, для которого будет разрабатываться дисциплина, остановимся на модели СТМ-10, и, отталкиваясь от нее, будем делать дальнейшие обобщения.

Установленная в⁴ дисциплина проведения ТО СТМ-10 предусматривает ежегодную поверку ВД и их калибровку в течение не более чем 45 суток (1080 часов) по поверочной газовой смеси (ПГС). Вместе с тем воздействие на них ряда факторов среды приводит к необходимости корректировки прежде всего сроков калибровки. А если это так, то величина коэффициента преобразования для ЧЭ растет быстрее. Учитывая это, разработчики прибора рекомендуют службам эксплуатации проводить замену ЧЭ на основе многолетнего опыта эксплуатации термохимических датчиков.

Результаты исследования

Будем рассматривать дисциплину ТО одного из датчиков в качестве функции групп параметров, которые определяют необходимость проведения определенных мероприятий для поддержания ВД СТМ-10 в требуемом документацией состоянии. В качестве значений данной функции могут выступать цели, обозначенные выше обобщенно. Такими целями могут быть:

- нормированная надежность подсистемы оповещения о пожаре, определяемая как отношение числа потенциально готовых к использованию в соответствии с нормативно-технической документацией датчиков к их общему числу;
- количество человеко-часов, необходимое для приведения данной системы в требуемое состояние;
- общие финансовые затраты, необходимые для поддержания единицы оборудования в готовом состоянии.

Для технологического процесса обеспечения ПБ наиболее важной является первая цель. Менее важной — вторая, а затем третья.

По сути, дисциплина ТО, позволяющая определять датчики, для которых необходимо проведение мероприятий ТО в связи с тем, что произошли какие-то неблагоприятные для их устойчивой эксплуатации события, представляет собой набор действий персонала по ее осуществлению. Для выбора нужной альтернативы в дисциплине ТО или сценарии проведения мероприятий можно использовать критерий ее оценки, основанный на целевых функциях, отражающих зависимости от каждой из групп перечисленных параметров.

В этом случае для одного элемента оборудования (ВД) можно записать:

$$D_i = \{F_{1i}, F_{2i}, F_{3i}, F_{4i}\}, i = \{1, 2, 3\}, \quad (1)$$

где i — номер цели функции для дисциплины ТО:

1 — нормированная надежная работа датчика внутри подсистемы оповещения о пожаре; 2 — количество человеко-часов, необходимое для приведения данной системы в требуемое состояние; 3 — общие финансовые затраты, необходимые для поддержания единицы оборудования в готовом состоянии;

F_{1i} — целевая функция, основанная на группе специфических параметров данной модели ЧЭ стационарного термохимического газосигнализатора;

F_{2i} — целевая функция, основанная на группе климатических параметров и топологии местности, где находится объект НПЗ;

F_{3i} — целевая функция, основанная на группе параметров работы персонала;

F_{4i} — целевая функция, основанная на группе прочих параметров.

Специфические параметры заданной модели ЧЭ стационарного термохимического газосигнализатора связаны с составом заложенного в него реагента. Описание его поведения при воздействии различных факторов среды, а также данные по его «износу» фиксируются производителем оборудования в РЭ, а эксплуатирующей организацией — во внутренних документах.

Климатические особенности и топология местности, в которой находится объект НПЗ, определяют базовую линию эксплуатации ЧЭ на конкретном объекте. Они могут влиять на количество калибровок и срок эксплуатации ЧЭ и должны в случаях, когда производственный процесс на определенном объекте НПЗ проходит в жестких для ЧЭ условиях, рассчитываться статистически. Также большую роль играют условия проверок и калибровок по ПГС, которые во многом зависят от температуры и влажности. Топология в меньшей степени влияет на условия эксплуатации и проверок ЧЭ, но фактически определяет их количество, регламентированное для установки вокруг ОТУ на объекте НПЗ.

Параметры работы персонала влияют на количество нормочасов, необходимое для калибровки и поверки устанавливаемых на объектах ЧЭ газосигнализаторов. Благодаря их учету можно рассчитать количество и сроки мероприятий ТО.

К прочим параметрам можно отнести такие особенности ЧЭ, как вариант исполнения, электрическое питание, выходная мощность, допустимое сопротивление нагрузки и т.п. Логично было бы дополнить данный набор параметров еще одним, основанным на форме конкретной открытой площадки, вокруг которой установлены стационарные приборы задан-

ной модели. Форма площадки может влиять на число установленных ВД.

Все перечисленные в (1) измерения вектора D_i представляют собой интегральные величины, которые могут быть выражены либо некоторыми действительными, либо нормированными величинами.

В случае необходимости получения интегрально-го критерия эффективности в дисциплину ТО следует включить все три перечисленных вектора из (1). Тогда интегральные оценки эффективности дисциплины ТО можно записать в виде прямоугольной матрицы

$$D_{\text{ТО}} = \begin{pmatrix} F_{11}, F_{21}, F_{31}, F_{41} \\ F_{12}, F_{22}, F_{32}, F_{42} \\ F_{13}, F_{23}, F_{33}, F_{43} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Результатом применения такого подхода может быть интегральная целевая функция по всем трем целям. Интегральный критерий в этом случае можно получить в виде свертки матрицы. В случае, когда значения ее элементов выражены действительными числами, это может быть сумма элементов по строкам и столбцам

$$D_{\text{ТО}} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 F_{ij}, \quad (3)$$

где F_{ij} — указанные выше факторы.

Дисциплина ТО представляет собой дискретно изменяемый процесс, состоящий из последовательности операций. Дискретное изменение процесса связано с появлением и регистрацией субъектом управления опасных событий, которые могут привести к снижению эффективности работы систем раннего обнаружения пожара. Как описано в [21], снижение эффективности подсистемы АСУТП по контролю уровня ПБ, а также их восстановление на объекте НПЗ может быть описано в виде двух встречно идущих подпроцессов: разрушительного и созидательного. Первый представляет собой последовательность опасных событий. Второй — последовательность управляющих воздействий и вызванных ими событий по восстановлению системы, которой управляет субъект управления. Процесс

ТО газосигнализаторов представляет собой составную часть созидательного (восстановительного) подпроцесса.

С учетом обозначенной цели исследования в данном разделе работы описан некоторый подход к математическому моделированию оценки эффективности ТО в общем виде. Он может быть применен для любого отдельно взятого датчика вокруг любой ОТУ НПЗ с возможностью выбора требуемого количества параметров в каждой из обозначенной группе параметров, влияющих на глубину оценки эффективности ТО. Данный выбор определяется на отдельном объекте НПЗ соответствующим закрепленным лицом, принимающим решения. В последующих работах при углублении описания процедуры моделирования ТО газосигнализаторов, устанавливаемых вокруг ОТУ на объектах НПЗ, будет проведена числовая расчетная оценка зависимости количества выносных датчиков от различных форм ОТУ НПЗ (прямоугольная, произвольный многоугольник, произвольная).

Выводы

В работе рассмотрели подход к моделированию дисциплины проведения работ в процессе ТО стационарных термохимических газосигнализаторов, установленных вокруг ОТУ НПЗ. Формирующий дисциплину ТО возможный план мероприятий выражен целями, функциями, характеризующими их достижение, а также используемыми в них параметрами.

Для построения некоторой базовой линии процесса ТО газосигнализаторов, устанавливаемых вокруг ОТУ на объектах НПЗ, необходимо рассмотреть их пространственное расположение, которое позволит посчитать их количество в конкретном случае в зависимости от периметра открытой установки. В этом смысле наиболее важными представляются два параметра: число датчиков в зависимости от величины периметра установки и регламентное время их ТО. Расчет регламентного времени проведения мероприятий ТО датчиков газосигнализаторов на объектах НПЗ ремонтными бригадами, состав которых известен, проведен в работе [22]. В следующих работах рассчитаем число ВД в зависимости от периметра открытой установки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Milov V.R., Suslov B.A., Kryukov O.V. Intellectual management decision support in gas industry // Automation and Remote Control. 2011. Vol. 72. Issue 5. Pp. 1095–1101. DOI: 10.1134/S0005117911050183
2. De Cillis F., Inderst F., Pascucci F., Setola R., Tesei M., Bragatto B.A. Improving the safety and the operational efficiency of emergency operators via on field situational awareness // Chemical Engineering Transactions. 2016. Vol. 53. Pp. 331–336. DOI: 10.3303/CET1653056

3. *Salameh H.B., Dhainat M., Benkhelifa E.* A survey on wireless sensor network-based IoT designs for gas leakage detection and fire-fighting applications // *Jordanian Journal of Computers and Information Technology*. 2019. Vol. 5. Issue 2. Pp. 60–72. DOI: 10.5455/jjcit.71-1550235278
4. *Топольский Н.Г., Самарин И.В., Строгонов А.Ю.* Методика оценки готовности к работе оборудования АСПББ первого уровня информирования на объектах ТЭК в особых условиях // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2019. Т. 28. № 1. С. 35–46. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.01.35-46
5. *Прохоров А.М.* Большая советская энциклопедия. 3-е изд. М. : Сов. Энциклопедия, 1969.
6. *Namuduri S., Narayanan B.N., Davuluru V.S.P., Burton L., Bhansali S.* Deep learning methods for sensor based predictive maintenance and future perspectives for electrochemical sensors // *Journal of The Electrochemical Society*. 2020. Vol. 167. Issue 3. DOI: 10.1149/1945-7111/ab67a8
7. *Zhang Y., Zhang M., Qian C.* System dynamics analysis for petrochemical enterprise fire safety system // *Procedia Engineering*. 2018. Vol. 211. Pp. 1034–1042. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.12.107
8. *Korotcenkov G.* Handbook of gas sensor materials. Vol. 1: Conventional Approaches. New York : Springer, 2013. 442 p. DOI: 10.1007/978-1-4614-7165-3
9. *Хаматдинова А.В., Смородова О.В.* Приборный контроль состояния газовой среды на предприятиях нефтепереработки // *Технологии техносферной безопасности*. 2015. № 4 (62). С. 325–331. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25846445>
10. *Lewis A.C., Lee J.D., Edwards P.M., Shaw M.D., Evans M.J., Moller S.J. et al.* Evaluating the performance of low cost chemical sensors for air pollution research // *Faraday discussions*. 2016. Vol. 189. Pp. 85–103. DOI: 10.1039/C5FD00201J
11. *Szulczyński B., Gębicki J.* Currently commercially available chemical sensors employed for detection of volatile organic compounds in outdoor and indoor air // *Environments*. 2017. Vol. 4. Issue 1. P. 21. DOI: 10.3390/environments4010021
12. *Храпский С.Ф., Стариков В.И., Рысев Д.В.* Производственная и пожарная автоматика. Омск : Изд-во ОмГТУ, 2013. 150 с.
13. *Федоров А.В.* Научные основы создания автоматизированной системы управления противопожарной защитой нефтеперерабатывающих производств. М. : Академия государственной противопожарной службы МВД России, 2000. 392 с.
14. *Фомин В.И., Федоров А.В., Лукьянченко А.А., Костюченков Д.К.* Автоматический аналитический контроль взрывоопасности воздушной среды промышленных объектов // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2004. Т. 13. № 4. С. 49–54. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18027450>
15. *Васьков Р.Е., Богач В.В.* О некоторых вопросах планирования мероприятий по локализации и ликвидации аварий // *Вестник Казанского технологического университета*. 2015. Т. 18. № 2. С. 428–429. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23006585>
16. *Френкель Б.А.* Промышленные анализаторы состава и свойств жидкостей и газов в процессах переработки нефти. М. : ЦНИИТЭнефтехим. 1995. 145 с.
17. *Афанасьев Д.С., Бардакова Е.А., Быстряков Д.С.* Аналитический обзор датчиков летучих веществ для интернета вещей // *Информационные технологии и телекоммуникации*. 2016. Т. 4. № 4. С. 1–12. URL: <https://www.sut.ru/doci/nauka/review/20164/1-12.pdf>
18. *Мотин А.В., Вергазов И.Р., Чапанов Н.С., Федоренко В.В.* Анализ и выбор методов преобразования концентрации компонентов ракетного топлива в воздухе рабочих мест и окружающей среды // *Информационно-управляющие и измерительные системы*. 2018. С. 92–96. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37280335>
19. *Кондратьева О.Е., Росляков П.В.* Сравнительный анализ газоаналитических систем для проведения непрерывного мониторинга выбросов ТЭС // *Теплоэнергетика*. 2017. № 6. С. 48–62. DOI: 10.1134/S0040363617060029
20. *Sekhar P.K., Brosha E.L., Mukundan R., Garzon F.* Chemical sensors for environmental monitoring and homeland security // *Electrochemical Society Interface*. 2010. Vol. 19. Issue 4. Pp. 35–40. DOI: 10.1149/2.F04104if
21. *Самарин И.В., Крючков А.В., Строгонов А.Ю.* Модель оценки готовности термохимических газосигнализаторов // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2020. Т. 29. № 6. С. 61–74. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.06.61-74
22. *Самарин И.В., Крючков А.В., Строгонов А.Ю.* Расчет времени и состава бригады для мероприятий калибровки термохимических датчиков на открытых установках НПЗ // *Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности*. 2020. № 12. С. 38–43.

REFERENCES

1. Milov V.R., Suslov B.A., Kryukov O.V. Intellectual management decision support in gas industry. *Automation and Remote Control*. 2011; 72(5):1095-1101. DOI: 10.1134/S0005117911050183
2. De Cillis F., Inderst F., Pascucci F., Setola R., Tesei M., Bragatto B.A. Improving the Safety and the Operational Efficiency of Emergency Operators via On Field Situational Awareness. *Chemical Engineering Transactions*. 2016; 53:331-336. DOI: 10.3303/CET1653056
3. Salameh H.B., Dhainat M., Benkhelifa E. A survey on wireless sensor network-based IoT designs for gas leakage detection and fire-fighting applications. *Jordanian Journal of Computers and Information Technology*. 2019; 5(02):60-72. DOI: 10.5455/jjcit.71-1550235278
4. Topolskiy N.G., Samarin I.V., Strogonov A.Yu. Operating readiness evaluation method of first level information distribution AFES equipment at facilities of fuel and energy complex in special conditions. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2019; 28(1):35-46. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.01.35-46 (rus).
5. Prokhorov A.M. *Great Soviet Encyclopedia*. 3rd ed. Moscow, Sovetskaya Entsiklopedia, 1969. (rus).
6. Namuduri S., Narayanan B.N., Davuluru V.S.P., Burton L., Bhansali S. Deep learning methods for sensor based predictive maintenance and future perspectives for electrochemical sensors. *Journal of the Electrochemical Society*. 2020; 167(3). DOI: 10.1149/1945-7111/ab67a8
7. Zhang Y., Zhang M., Qian C. System dynamics analysis for petrochemical enterprise fire safety system. *Procedia Engineering*. 2018; 211:1034-1042. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.12.107
8. Korotcenkov G. Handbook of gas sensor materials. *Volume 1: Conventional Approaches*. New York, Springer, 2013; 442. DOI: 10.1007/978-1-4614-7165-3
9. Khamatdinova A.V., Smorodova O.V. The instrumental control of gas environment state on refining plants. *Technology of Technosphere Safety*. 2015; 4(62):325-331. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25846445> (rus).
10. Lewis A.C., Lee J.D., Edwards P.M., Shaw M.D., Evans M.J., Moller S.J. et al. Evaluating the performance of low cost chemical sensors for air pollution research. *Faraday discussions*. 2016; 189:85-103. DOI: 10.1039/C5FD000201J
11. Szulczyński B., Gębicki J. Currently commercially available chemical sensors employed for detection of volatile organic compounds in outdoor and indoor air. *Environments*. 2017; 4(1):21. DOI: 10.3390/environments4010021
12. Khrapsky S.F., Starikov V.I., Rysev D.V. *Industrial and fire automation systems*. Omsk, Omsk State Technical University Publ., 2013; 150. (rus).
13. Fedorov A.V. *Scientific bases of creation of the automated control system of fire protection of oil refineries*. Moscow, State Fire Academy of the Ministry of Internal Affairs of Russia Publ., 2000; 392. (rus).
14. Fomin V.I., Fedorov A.V., Lukyanchenko A.A., Kostyuchenkov D.K. An automatic analytical control of explosion hazard of air medium of industrial objects. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2004; 13(4): 49-54. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18027450> (rus).
15. Vaskov R.E., Bogach V.V. About some questions of planning of actions for localization and elimination of accidents. *Bulletin of Kazan technological University*. 2015; 18(2): 428-429. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23006585> (rus).
16. Frankel B.A. *Industrial analyzers of the composition and properties of liquids and gases in oil refining processes*. Moscow, TSNIITeftekhim, 1995; 145. (rus).
17. Afanasiev D.S., Bardakova E.A., Bystryakov D.S. Analytical review sensors of volatiles for the internet of things. *Telecom IT*. 2016; 4(4):1-12. URL: <https://www.sut.ru/doci/nauka/review/20164/1-12.pdf> (rus).
18. Motin A.V., Vergazov I.R., Chapanov N.S., Fedorenko V.V. Analysis and selection of methods for converting the concentration of rocket fuel components in the air of workplaces and the environment. *Information and control and measurement systems*. 2018; 92-96. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37280335> (rus).
19. Kondratyeva O.E., Roslyakov P.V. Comparative study of gas-analyzing systems designed for continuous monitoring of TPP emissions. *Thermal Engineering*. 2017; 6:437-449. DOI: 10.1134/S0040601517060027 (rus).
20. Sekhar P.K., Brosha E.L., Mukundan R., Garzon F. Chemical sensors for environmental monitoring and homeland security. *Electrochemical Society Interface*. 2010; 19(4):35-40. DOI: 10.1149/2.F04104if
21. Samarin I.V., Kryuchkov A.V., Strogonov A.Yu. Thermochemical gas analyzer readiness assessment model. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(6):61-74. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.06.61-74 (rus).

22. Samarin I.V., Kryuchkov A.V., Strogonov A. Yu. Calculation of time and team composition for thermochemical detectors calibration installed around open refinery plants. *Automation, telemechanization and communication in oil industry*. 2020; 12: 38-43. DOI: 10.33285/0132-2222-2020-12(569)-38-43 (rus).

Поступила 19.12.2021, после доработки 13.01.2022; принята к публикации 01.02.2022
Received December 19, 2021; Received in revised form January 13, 2022; Accepted February 1, 2022

Информация об авторах

САМАРИН Илья Вадимович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизации технологических процессов, Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, Россия, 119991, г. Москва, Ленинский пр-т, 65, корп. 1; РИНЦ ID: 867674; ORCID: 0000-0003-2430-5311; e-mail: ivs@gubkin.ru

КРЮЧКОВ Алексей Вячеславович, канд. техн. наук, доцент кафедры комплексной безопасности критически важных объектов, Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, Россия, 119991, г. Москва, Ленинский пр-т, 65, корп. 1; РИНЦ ID: 1047095; ORCID: 0000-0002-5665-7058; e-mail: hook66@list.ru

СТРОГОНОВ Андрей Юрьевич, аспирант кафедры автоматизации технологических процессов, Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, Россия, 119991, г. Москва, Ленинский пр-т, 65, корп. 1; РИНЦ ID: 936562; ORCID: 0000-0001-7994-5987; e-mail: strogonov.a@gubkin.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Ilya V. SAMARIN, Cand. Sci. (Eng.), Docent, Associate Professor of Department of Automation of Technological Processes, National University of Oil and Gas "Gubkin University", Leninskiy Avenue, 65, Bldg. 1, Moscow, 119991, Russian Federation; ID RISC: 867674; ORCID: 0000-0003-2430-5311; e-mail: ivs@gubkin.ru

Alexey V. KRYUCHKOV, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of Department of Integrated Security of Critical Facilities, National University of Oil and Gas "Gubkin University", Leninskiy Avenue, 65, Bldg. 1, Moscow, 119991, Russian Federation; ID RISC: 1047095; ORCID: 0000-0002-5665-7058; e-mail: hook66@list.ru

Andrey Yu. STROGONOV, Graduate Student of Department of Automation of Technological Processes, National University of Oil and Gas "Gubkin University", Leninskiy Avenue, 65, Bldg. 1, Moscow, 119991, Russian Federation; ID RISC: 936562; ORCID: 0000-0001-7994-5987; e-mail: strogonov.a@gubkin.ru

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.