

Расчет регламентированного количества выносных датчиков газосигнализаторов вокруг открытых установок нефтеперерабатывающих заводов прямоугольной формы

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 до взрывных концентраций в процессе обеспечения необходимого уровня пожарной безопасности (ПБ) на пожаровзрывоопасных объектах нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ). Обоснована важность процедуры технического обслуживания (ТО) приборов первого (нижнего) уровня информирования, входящих в состав автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП), установленных вокруг открытых технологических установок (ОТУ) НПЗ.

Теоретические основы. Утверждается, что два встречно идущих подпроцесса (разрушительный и созидательный (восстановительный)) обеспечения ПБ могут описать снижение эффективности подсистем АСУТП по контролю уровня ПБ, а также их восстановление на объектах НПЗ. Дисциплина ТО газосигнализаторов представлена в виде дискретного созидательного подпроцесса. Показана связь пространственного расположения датчиков стационарных газосигнализаторов и возможности расчета их числа в зависимости от периметра открытой установки.

Результаты исследования. С целью математического описания процедуры ТО стационарных газосигнализаторов в работе проведена расчетная оценка зависимости количества их выносных датчиков от периметра ОТУ НПЗ прямоугольной формы, вокруг которой они установлены, а также от регламентированных расстояний установки датчиков.

Выводы. Полученная в работе оценка отражает особенности установки датчиков газосигнализаторов любых типов по классификации в соответствии с физическими методами анализа. Сделан вывод, что данные о периметре ОТУ могут помочь в расчете количества рядов для установки приборов, длины каждого из рядов, нормативно установленного количества ВД газосигнализаторов в каждом из рядов.

Ключевые слова: нефтеперерабатывающий завод; автоматизированная система управления технологическими процессами; пожарная безопасность; газосигнализатор; стационарный газосигнализатор; открытая технологическая установка; техническое обслуживание

Для цитирования: Самарин И.В., Крючков А.В., Строгонов А.Ю. Расчет регламентированного количества выносных датчиков газосигнализаторов вокруг открытых установок нефтеперерабатывающих заводов прямоугольной формы // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2022. Т. 31. № 2. С. 33–40. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.02.33-40

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

The calculation of the regulated number of remote sensors of gas analyzers surrounding rectangular outdoor facilities at oil refineries

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

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

ABSTRACT

Introduction. The authors emphasize the importance of pre-explosive concentration sensors, that ensure the required fire safety (FS) at fire/explosion hazardous facilities of oil refineries. The authors substantiate the impor-

tance of maintenance procedures for first-level alarming devices that are part of automated process control systems (APCS) installed around outdoor facilities of refineries.

Theoretical fundamentals. The authors argue that two counter-running subprocesses (destructive and creative (restorative)), that ensure fire safety, can describe a decrease in the efficiency of APCS subsystems in the FS monitoring, as well as their restoration at refinery facilities. The proper maintenance of gas detectors is presented as a discrete creative subprocess. The authors demonstrate a relation between the spatial location of sensors of stationary gas analyzers and the computability of their number, depending on the outdoor facility perimeter.

Research results. To mathematically describe the maintenance procedure applied to stationary gas analyzers, the authors assess the dependence between the number of remote detectors, the perimeter of the rectangular outdoor unit, around which they are installed at a refinery, and the prescribed distance between the sensors.

Conclusion. This assessment conveys the features of installation of gas detectors of any type depending on their classification based on physical methods of analysis. A conclusion is drawn that the perimeter data can help to calculate the number of rows for the installation of devices, the length of each row, the prescribed number of gas detectors in each row.

Keywords: oil refinery; automated process control system; fire safety; gas analyzer; stationary gas analyzer; outdoor production facility; maintenance

For citation: Samarina I.V., Kryuchkov A.V., Stroganov A.Yu. The calculation of the regulated number of remote sensors of gas analyzers surrounding rectangular outdoor facilities at oil refineries. *Pozharovzryvobezopasnost/ Fire and Explosion Safety*. 2022; 31(2):33-40. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.02.33-40 (rus).

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

Введение

Способы информирования сотрудников дежурных смен о состоянии среды в зоне их ответственности относятся к наиболее значимым для предотвращения пожаров и взрывов на объектах нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) мерам [1]. Практики предупреждения, наискорейшего обнаружения и устранения источника возгорания на предприятиях повышенной пожарной опасности непрерывно совершенствуются [2–4]. В качестве первого звена информирования в системах раннего обнаружения и предупреждения пожаров и взрывов на таких объектах выступают датчики газосигнализаторов. Их готовность к использованию становится ключевым фактором обеспечения пожарной безопасности (ПБ) [5], особенно с учетом ограниченного особыми условиями ресурса [6]. На данный фактор в свою очередь довольно сильно влияет процедура технического обслуживания (ТО) приборов первого (нижнего) уровня информирования, входящих в состав автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП), установленных вокруг открытых технологических установок (ОТУ). Под ОТУ будем понимать оборудование промышленных предприятий, размещаемое вне производственных зданий (на открытых площадках) [7]. Для целей исследования выбран термохимический тип газосигнализаторов, работающих по принципу определения энергии окисляемого ими газа с помощью катализатора [8]. У данных приборов есть ряд преимуществ. Одним из них является стоимость, так как существует потребность использования на объектах НПЗ большого количества таких приборов. Вопрос экономии средств всегда актуален. Термохимические газосигнализаторы наиболее приемлемы по данному

параметру [9, 10]. Среди многих газосигнализаторов, применяемых для определения горючих паров или газов, термохимический метод получил наибольшее распространение в мировой практике [11]. В работе [12] 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). Однако помимо описанных выше и некоторых других преимуществ [13–15], термохимический принцип работы данных приборов измерения дозврывоопасных концентраций горючих газов и паров имеет в том числе и ряд недостатков. Например, 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 [16–18].

Статья посвящена получению расчетных формул для определения числа датчиков газосигнализаторов, устанавливаемых вокруг ОТУ на объектах НПЗ в зависимости от периметра ОТУ, а именно ОТУ прямоугольной формы. Для достижения этой цели рассмотрено пространственное расположение датчиков с учетом требований к установке сигнализаторов и газосигнализаторов (ТУ-газ-86). Для удобства геометрических расчетов принимаются во внимание различные расположения линий газосигнализаторов вокруг прямоугольной ОТУ.

Теоретические основы

Дисциплина ТО представляет собой дискретно изменяемый процесс, состоящий из последовательности операций. Снижение эффективности подсистем АСУТП по контролю уровня ПБ, а также их восстановление на объектах НПЗ может быть описано в виде двух встречно идущих подпроцессов: разрушительного и созидательного [19]. Первый представляет собой последовательность опасных событий. Второй — последовательность управляющих воздействий и вызванных ими событий по восстановлению системы, которой управляет субъект управления. События разрушительного подпроцесса при обеспечении надежной работы подсистемы оповещения о пожаре связаны с появлением регистрируемых дежурной сменой данных об отклонении в работе датчиков от нормированных значений [20]. Процесс ТО газосигнализаторов представляет собой составную часть созидательного (восстановительного) подпроцесса.

Для математического описания процесса ТО стационарных газосигнализаторов, устанавливаемых вокруг ОТУ на объектах НПЗ, необходимо рассмотреть их пространственное расположение, которое позволит посчитать их количество в зависимости от периметра открытой установки. В этом смысле наиболее важными представляются два параметра: число выносных датчиков (ВД) 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 [21]. В данной работе рассчитаем число ВД в зависимости от периметра открытой установки.

В документе ТУ-газ-86¹ указан «примерный порядок расположения датчиков сигнализаторов дозрывных концентраций на открытой установке шириной» до 30 метров (Приложение 4) и более 30 метров (Приложение 5). Расстояния в метрах показывают геометрию их расположения. Рис. 1 (Приложение 5)¹ показывает, как в последнем случае должны располагаться датчики. Точками на рис. 1 указаны датчики-сигнализаторы, а штриховкой — мертвые зоны. В соответствии с рекомендацией¹ их не следует учитывать при расчете мест установки датчиков и их общего количества на открытой установке. Зарубежные авторы в [22] также утверждают, что действующие в отрасли стандарты и правила предоставляют только общие качественные рекомендации по установке датчиков, которые основаны на минимальном использовании данных и не учитывают присущую сложность их размещения.

Результаты исследования

Оценим характер зависимости количества устанавливаемых ВД от периметра ОТУ, вокруг которой они установлены. Будем считать, что размер ОТУ задан ее периметром. Для наибольшего приближения к реальному периметру ОТУ можно рассматривать некоторую ее произвольную форму. Однако переход к расчетам числа ВД для ОТУ такой формы проведем после вспомогательных оценок количества датчиков для установок прямоугольной формы, а также в форме произвольного многоугольника.

¹ ТУ-газ-86. Требования к установке сигнализаторов и газосигнализаторов. М., 1986. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/9/9177/> (дата обращения: 10.02.2022).

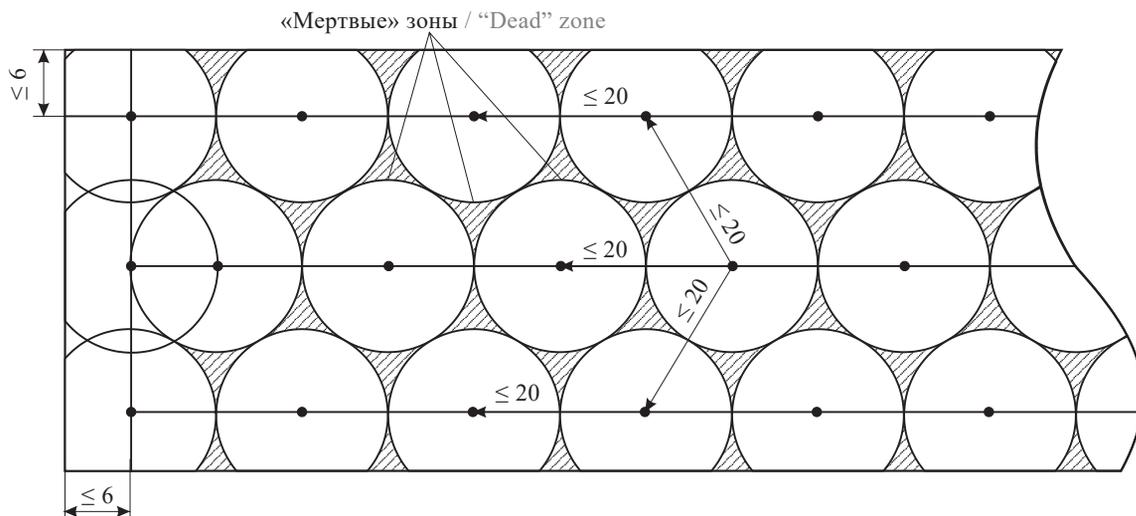


Рис. 1. Примерный порядок расположения датчиков сигнализаторов дозрывных концентраций на открытой установке шириной более 30 м

Fig. 1. An exemplary arrangement of sensors of pre-explosive concentration detectors at an outdoor unit whose width exceeds 30 m

Согласно требованию к установке¹ (п. 3.2), первый ряд должен быть удален от внешнего периметра установки на 6 метров. В этом случае для первой линии установки получаем подобный прямоугольник (рис. 2).

В данном случае получается подобный прямоугольник, периметр которого больше периметра открытой установки на $8l_{\text{рег}}^{(1)}$:

$$P_{\text{уст}}^{(1)} = P_{\text{ОУ}} + 8l_{\text{рег}}^{(1)}, \quad (1)$$

где $P_{\text{уст}}^{(1)}$ — периметр воображаемой первой линии установки ВД.

Для следующего ряда датчиков, которые устанавливаются в шахматном порядке, имеем также подобный прямоугольник. Чтобы установить его периметр, нужно решить простую геометрическую задачу — найти высоту равностороннего треугольника со стороной 20 м (рис. 3). Это следует из рис. 1. По теореме Пифагора это — $\sqrt{3} \times 10$ м, или 17,32 м. Обозначим эту величину как $l_{\text{рег}}^{(2)}$.

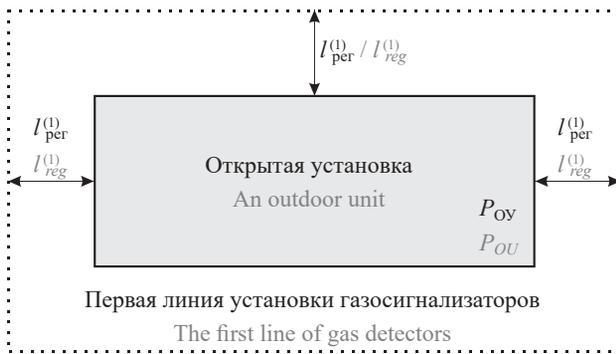


Рис. 2. Примерный порядок установки газосигнализаторов первой линии вокруг прямоугольной открытой установки: $P_{\text{ОУ}}$ — периметр открытой установки; $l_{\text{рег}}^{(1)}$ — регламентированное¹ (п. 3.2) расстояние до первой линии мест установки датчиков

Fig. 2. An exemplary layout of the first-line gas detectors surrounding a rectangular outdoor unit: P_{OU} — perimeter of an outdoor unit; $l_{\text{рег}}^{(1)}$ — regulated¹ (section 3.2) distance to the first line of gas detectors

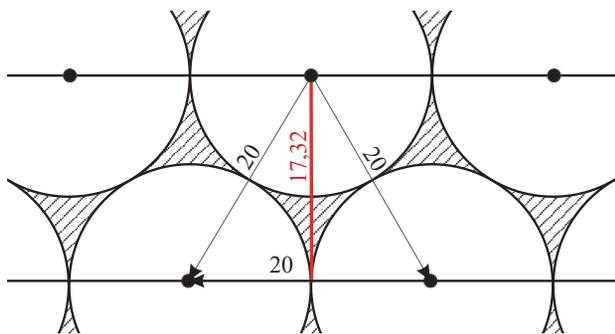


Рис. 3. Расстояние до второй (и третьей) линии газосигнализаторов вокруг прямоугольной открытой установки

Fig. 3. Distance to the second (and third) lines of gas detectors surrounding a rectangular outdoor unit

Тогда $P_{\text{уст}}^{(2)}$ — периметр воображаемой второй линии установки ВД

$$P_{\text{уст}}^{(2)} = P_{\text{ОУ}} + 8l_{\text{рег}}^{(1)} + 8l_{\text{рег}}^{(2)}. \quad (2)$$

Если размер установки не превышает 30 м (малый периметр), то необходимо два ряда ВД. Если нет — то три (большой периметр). В этом случае на расстоянии $l_{\text{рег}}^{(2)}$ от второй линии установки ВД будет еще одна, периметр которой $P_{\text{уст}}^{(3)}$ определится формулой

$$P_{\text{уст}}^{(3)} = P_{\text{ОУ}} + 8l_{\text{рег}}^{(1)} + 16l_{\text{рег}}^{(2)}. \quad (3)$$

Общая длина всех линий установки датчиков составит для малого периметра (< 30 м):

$$P_{\text{мал}}^{(\text{общ})} = P_{\text{уст}}^{(1)} + P_{\text{уст}}^{(2)} = 2P_{\text{ОУ}} + 16l_{\text{рег}}^{(1)} + 8l_{\text{рег}}^{(2)}, \quad (4)$$

для большого периметра (> 30 м):

$$P_{\text{бол}}^{(\text{общ})} = P_{\text{уст}}^{(1)} + P_{\text{уст}}^{(2)} + P_{\text{уст}}^{(3)} \quad (5)$$

или

$$P_{\text{бол}}^{(\text{общ})} = 3P_{\text{уст}}^{(1)} + 24l_{\text{рег}}^{(1)} + 24l_{\text{рег}}^{(2)}. \quad (6)$$

Соответственно, исходя из радиуса зоны действия ВД в 10 м, регламентное их количество в зависимости от периметра открытой установки определяется как

$$N_{\text{мал}}^{(\text{общ})-} = 1/20(2P_{\text{ОУ}} + 16l_{\text{рег}}^{(1)} + 8l_{\text{рег}}^{(2)}) \quad (7)$$

для малого периметра и

$$N_{\text{бол}}^{(\text{общ})-} = 1/30(3P_{\text{ОУ}} + 24l_{\text{рег}}^{(1)} + 24l_{\text{рег}}^{(2)}) \quad (8)$$

для большого периметра.

Здесь величины $N_{\text{мал}}^{(\text{общ})-}$ и $N_{\text{бол}}^{(\text{общ})-}$ — значения необходимых к установке ВД, получаемые при делении. В случае, если они не являются целыми, то регламентированное количество требуемых к установке датчиков $N_{\text{мал}}^{(\text{общ})}$ (и $N_{\text{бол}}^{(\text{общ})}$) следует округлить вверх до ближайшего целого числа.

$$N_{\text{мал}}^{(\text{общ})} = \begin{cases} N_{\text{мал}}^{(\text{общ})-}, & [N_{\text{мал}}^{(\text{общ})-}] = N_{\text{мал}}^{(\text{общ})-}, \\ N_{\text{мал}}^{(\text{общ})-} + 1, & [N_{\text{мал}}^{(\text{общ})-}] \neq N_{\text{мал}}^{(\text{общ})-}; \end{cases} \quad (9)$$

$$N_{\text{бол}}^{(\text{общ})} = \begin{cases} N_{\text{бол}}^{(\text{общ})-}, & [N_{\text{бол}}^{(\text{общ})-}] = N_{\text{бол}}^{(\text{общ})-}, \\ N_{\text{бол}}^{(\text{общ})-} + 1, & [N_{\text{бол}}^{(\text{общ})-}] \neq N_{\text{бол}}^{(\text{общ})-}. \end{cases} \quad (10)$$

В формулах (7) и (8) зафиксирована зависимость числа устанавливаемых ВД вокруг ОТУ НПЗ прямоугольной формы от ее периметра и регламентированных расстояний установки ВД. Для первой линии установки ($l_{\text{рег}}^{(1)}$) в требовании к установке¹ установлено значение в 6 м, для последующих ($l_{\text{рег}}^{(2)}$ и $l_{\text{рег}}^{(3)}$) — 17,32 м. Эти формулы можно также применять и для других объектов защиты на предприятиях, которые используют требование к установке¹ в качестве основного нор-

мативного документа. В случаях, когда установлены иные значения для удаления линий установки ВД, данные формулы также позволяют рассчитать регламентированное их количество.

Выводы

Таким образом, в работе произвели расчет регламентного числа устанавливаемых датчиков стационарных газосигнализаторов ОТУ НПЗ прямоугольной формы с целью определения установленного норма-

тивным документом¹ количества ВД. Полученная оценка отражает особенности установки датчиков газосигнализаторов любых типов по классификации в соответствии с физическими методами анализа [23, 24]. Имея данные о периметре ОТУ, можно произвести расчет количества рядов для установки приборов, длины каждого из рядов, нормативно установленного количества ВД газосигнализаторов в каждом из рядов. Критерии газовой чувствительности газосигнализаторов и количество определяемых ими газов могут быть любыми.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Kidam K., Hussin N.E., Hassan O., Ahmad A., Johari A., Hurme M.* Accident prevention approach throughout process design life cycle // *Process Safety and Environmental Protection*. 2014. Vol. 92. Issue 5. Pp. 412–422. DOI: 10.1016/j.psep.2014.05.006
2. *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
3. *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
4. *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 (JJCIT)*. 2019. Vol. 5. Issue 02. Pp. 60–72. DOI: 10.5455/jjcit.71-1550235278
5. *Gaur A., Singh A., Kumar A., Kulkarni K.S., Lala S., Kapoor K. et al.* Fire sensing technologies: A review // *IEEE Sensors Journal*. 2019. Vol. 19. Issue 9. Pp. 3191–3202. DOI: 10.1109/JSEN.2019.2894665
6. *Топольский Н.Г., Самарин И.В., Строгонов А.Ю.* Методика оценки готовности к работе оборудования АСПВБ первого уровня информирования на объектах ТЭК в особых условиях // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2019. Т. 28. № 1. С. 35–46.
7. *Прохоров А.М.* Большая советская энциклопедия. 3-е изд. М. : Сов. Энциклопедия. 1969.
8. *Fonollosa J., Solórzano A., Marco S.* Chemical sensor systems and associated algorithms for fire detection: A review // *Sensors*. 2018. Vol. 18. Issue 2. P. 553. DOI: 10.3390/s18020553
9. *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
10. *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. No. 1. P. 21. DOI: 10.3390/environments4010021
11. *Храпский С.Ф., Стариков В.И., Рысев Д.В.* Производственная и пожарная автоматика. Омск : Изд-во ОмГТУ, 2013. 150 с.
12. *Федоров А.В.* Научные основы создания автоматизированной системы управления противопожарной защитой нефтеперерабатывающих производств. М. : Академия государственной противопожарной службы МВД России, 2000. 392 с.
13. *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://www.elibrary.ru/item.asp?id=18027450>
14. *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://www.elibrary.ru/item.asp?id=23006585>
15. *Френкель Б.А.* Промышленные анализаторы состава и свойств жидкостей и газов в процессах переработки нефти : Тематический обзор. М. : ЦНИИТЭнефтехим. 1995. 145 с.

16. 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>
17. 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 : мат. XI отраслевой науч.-техн. конф. приборостроительных организаций ГК «РОСКОСМОС» : посвящ. 30-летию полета многоразовой транспортной космической системы «Энергия – Буран». М. : Спутник+, 2018. С. 92–96.
18. 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
19. 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
20. Shrivastava N., Shukla V. Fire detection & alarm system in oil & gas refinery // International Journal of Scientific Research & Engineering Trends. 2019. Vol. 5. Issue 1. Pp. 26–31.
21. 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. DOI: 10.33285/0132-2222-2020-12(569)-38-43
22. Rad A., Rashtchian D., Badri N. A risk-based methodology for optimum placement of flammable gas detectors within open process plants // Process Safety and Environmental Protection. 2017. Vol. 105. Pp. 175–183. DOI: 10.1016/j.psep.2016.10.012
23. Korotcenkov G. Handbook of gas sensor materials. Volume 1: Conventional Approaches. New York : Springer, 2013. 442 p. DOI: 10.1007/978-1-4614-7165-3
24. Хаматдинова А.В., Смородова О.В. Приборный контроль состояния газовой среды на предприятиях нефтепереработки // Технологии техносферной безопасности. 2015. № 4 (62). С. 325–331.

REFERENCES

1. Kidam K., Hussin N.E., Hassan O., Ahmad A., Johari A., Hurme M. Accident prevention approach throughout process design life cycle. *Process Safety and Environmental Protection*. 2014; 92(5):412-422. DOI: 10.1016/j.psep.2014.05.006
2. 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
3. De Cillis F., Inderst F., Pascucci F., Setola R., Tesi 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
4. 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 (JJCIT)*. 2019; 5(02):60-72. DOI: 10.5455/jjcit.71-1550235278
5. Gaur A., Singh A., Kumar A., Kulkarni K.S., Lala S., Kapoor K. et al. Fire sensing technologies: A review. *IEEE Sensors Journal*. 2019; 19(9):3191-3202. DOI: 10.1109/JSEN.2019.2894665
6. Topolskiy N.G., Samarina 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. (rus).
7. Prokhorov A.M. *Great Soviet Encyclopedia*. 3rd Ed. Moscow, Sovietskaia Entsiklopediia Publ., 1969. (rus).
8. Fonollosa J., Solórzano A., Marco S. *Chemical sensor systems and associated algorithms for fire detection: A review*. *Sensors*. 2018; 18(2):553. DOI: 10.3390/s18020553
9. 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/C5FD00201J
10. 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

11. Khrapsky S.F., Starikov V.I., Rysev D.V. *Industrial and fire automation systems*. Omsk, Omsk State Technical University Publ., 2013; 150. (rus).
12. 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).
13. 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. (rus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18027450>
14. 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://www.elibrary.ru/item.asp?id=23006585> (rus).
15. Frankel B.A. *Industrial analyzers of the composition and properties of liquids and gases in oil refining processes*. Moscow, TSNIITeneftkhim, 1995; 145. (rus).
16. 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).
17. 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 : materials of the XI branch scientific and technical conference of instrument-making organizations of the State Corporation "ROSCOSMOS" : dedicated to the 30th anniversary of the flight of the reusable space transport system "Energia – Buran"*. Moscow, Sputnik+ Publ., 2018; 92-96. (rus).
18. Kondrateva O.E., Roslyakov P.V. Comparative study of gas-analyzing systems designed for continuous monitoring of TPP emissions. *Thermal Engineering*. 2017; 6:48-62. DOI: 10.1134/S0040363617060029 (rus).
19. 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).
20. Shrivastava N., Shukla V. Fire detection & alarm system in oil & gas refinery. *International Journal of Scientific Research & Engineering Trends*. 2019; 5(1):26-31.
21. 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).
22. Rad A., Rashtchian D., Badri N. A risk-based methodology for optimum placement of flammable gas detectors within open process plants. *Process Safety and Environmental Protection*. 2017; 105:175-183. DOI: 10.1016/j.psep.2016.10.012
23. Korotcenkov G. *Handbook of gas sensor materials. Volume 1: Conventional Approaches*. New York, Springer, 2013; 442. DOI: 10.1007/978-1-4614-7165-3
24. 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. (rus).

*Поступила 13.01.2022, после доработки 17.02.2022;
принята к публикации 02.03.2022*

*Received January 13, 2022; Received in revised form February 17, 2022;
Accepted March 2, 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

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

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.

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.