

А. В. КАЛАЧ, д-р хим. наук, профессор, профессор кафедры основ гражданской обороны и управления в ЧС, Воронежский институт – филиал Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: a_kalach@mail.ru)

Е. В. КАЛАЧ, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры естественнонаучных дисциплин, Воронежский институт – филиал Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: EVKalach@gmail.com)

А. В. ВЫТОВТОВ, преподаватель кафедры пожарной безопасности объектов защиты, Воронежский институт – филиал Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: taft.rvk@yandex.ru)

УДК 614.841

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Рассмотрены особенности обеспечения пожарной безопасности линейных объектов нефтегазового комплекса с применением беспилотных воздушных судов. Представлено нормативное обоснование использования данных устройств в системе обеспечения пожарной безопасности. Проведен анализ и обобщение существующих методик мониторинга пожарной опасности с использованием беспилотных воздушных судов, выявлены их преимущества и недостатки. Показано, что в отечественных методиках применения беспилотных воздушных судов процесс цифрового обнаружения не реализован вовсе, а всю полезную информацию с монитора принимает человек-оператор. Предложена оригинальная методика автоматического мониторинга объектов нефтегазовой отрасли с борта беспилотного воздушного судна, обеспечивающая обнаружение пламенного горения по видеопотоку и снижение пожарной и промышленной опасности.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация; авария; нефтегазовый комплекс; система автоматического контроля; пожар; мониторинг.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.12.49-55

Введение

Обеспечение надежной и безопасной эксплуатации объектов магистрального транспорта нефти и газа представляет собой стратегическое направление развития топливно-энергетического комплекса Российской Федерации. Комплексный подход при обеспечении безопасности в чрезвычайных ситуациях (ЧС) техногенного характера на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта направлен на снижение вероятности возникновения аварий, приводящих к катастрофическим последствиям [1, 2]. Это достигается, как правило, за счет обновления оборудования и технических устройств, совершенствования технологий и организационных мероприятий, обеспечения необходимого уровня подготовки персонала к проведению действий по локализации аварии [3].

На современном этапе для проведения оперативного мониторинга линейных объектов нефтегазовой отрасли используют беспилотные воздушные

суда (БВС), которые позволяют решать целый комплекс задач, в том числе по обеспечению пожарной безопасности [4].

Целью работы является разработка методики использования беспилотных воздушных судов для обеспечения пожарной безопасности нефтегазовых трубопроводов, а также обоснование роли и места применения данных устройств в существующей и закрепленной в нормативных документах системе обеспечения пожарной безопасности линейных объектов нефтегазовой отрасли [5, 6].

Для достижения поставленной цели в ходе исследования решались следующие частные задачи: анализ приборов, располагаемых на беспилотном воздушном судне, и их применимость для фиксирования пожара и аварии на контролируемом объекте; моделирование наиболее неблагоприятных сценариев, предшествующих пожару, и вариантов их возможной идентификации с борта беспилотного воздушного судна; анализ нормативной базы с точки

зрения возможности интеграции летательных аппаратов в систему обеспечения пожарной безопасности.

Материалы и методы

Для снижения вероятности возникновения аварий на линейных объектах нефтегазовой отрасли необходим анализ множества факторов, к которым относится вероятность внешнего механического воздействия, человеческих ошибок, явлений природного характера и др. [7]. Аварии на нефтегазотранспортных объектах зачастую сопровождаются значительным материальным ущербом. В связи с этим предотвращение ЧС на стадии возникновения аварии на линейных объектах нефтегазовой отрасли является перспективным и актуальным направлением обеспечения безопасности на объектах магистрального транспорта [8, 9]. Известно, что масштабы последствий ЧС техногенного характера в результате аварий на магистральных нефтегазопроводах зависят от правильности и быстроты действий оперативного персонала при локализации аварии, а оперативность его действий в свою очередь — от своевременного получения информации о нарушении режима функционирования, разрушении нефтегазопровода, а также об утечке нефти и нефтепродуктов.

Для обнаружения утечек в настоящее время существует большое количество подходов, основанных на отслеживании изменений характеристик потока жидкости, трубопровода и окружающей среды и отличающихся по эффективности и условиям применения, сложности и стоимости реализации и эксплуатации [10]. Однако все известные методы имеют недостатки, ограничивающие их использование при эксплуатации нефтегазопроводов. Кроме того, существующие способы идентификации утечек нефти и нефтепродуктов либо предполагают значительные трудовые, временные и финансовые затраты предприятий, либо позволяют обнаруживать утечку только при выполнении определенных условий.

Таким образом, несмотря на многообразие исследований, посвященных распознаванию утечек, в настоящее время эту задачу считать решенной нельзя [11]. С точки зрения развития методического аппарата представляют практический интерес исследования в области распознавания аварийных ситуаций, возникающих на линейных объектах нефтегазовой отрасли. Внедрение современных систем контроля и обеспечения безопасности в нефтегазовом комплексе также является актуальным направлением, особенно на стадии технического перевооружения производства [12, 13].

Решение данных задач возможно с помощью беспилотных воздушных судов. Как показали исследо-

вания, БВС применимы для обеспечения контроля над пожароопасными районами, проведения поисковых работ, разведки на крупных пожарах, а также для получения оперативной информации в кризисных ситуациях [14], поэтому они активно используются для мониторинга пожарной и промышленной безопасности линейных объектов нефтегазовой отрасли. В перспективе существующие методики мониторинга нуждаются в модернизации с учетом потребностей и задач, стоящих перед организациями, эксплуатирующими трубопровод с максимальной автоматизацией процесса [15].

Теоретические основы

Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки систем, обеспечивающих снижение пожарной и промышленной опасности, предупреждение возникновения пожаров и аварий на объектах нефтегазового комплекса.

Основной задачей в области пожарной безопасности при проведении мониторинга с БВС является фиксирование открытого горения вблизи трубопровода, которое может возникнуть в следующих условиях:

- “Пал костров. Разведение огня категорически запрещено вблизи с трубопроводом, но в условиях низких температур для согревания осознанно к этому способу прибегают рыбаки, охотники и обслуживающий персонал магистралей.
- Горение растительной подстилающей поверхности. Данный тип пожаров возникает, как правило, в результате человеческого фактора при неосторожном обращении с огнем. Частным случаем является бесконтрольное горение ягеля на просторах тундры, что является опасным явлением для защищаемых объектов.
- Локальный очаг горения углеводородов до перетекания в глобальную чрезвычайную ситуацию” [16].

В перечисленных случаях оперативность получения информации о процессе горения повышает пожарную безопасность за счет введения оперативных действий по ликвидации пожара.

Согласно п. 2 ст. 5 ФЗ-123 одним из элементов системы обеспечения пожарной безопасности объекта защиты является система предотвращения пожара. В соответствии с п. 1 ст. 50 ФЗ-123 цель данной системы состоит в исключении условий возникновения пожара, в том числе внесения в горючую среду источников зажигания.

Открытое горение вблизи магистрального газонефтепровода, на обнаружение которого направлена разработанная методика, может стать источником зажигания и привести к крупномасштабной аварии и взрыву. Своевременное обнаружение горения и

принятие соответствующих мер позволит ликвидировать источник зажигания и повысить пожарную безопасность объекта.

Однако недостатком БВС, состоящих в настоящее время на вооружении, является малое время пребывания в полете [17]. Мощность аккумуляторных батарей, установленных на аппаратах, не может обеспечить выполнение полетного задания в течение длительного времени. Опыт эксплуатации данных аппаратов в нефтегазовой отрасли позволил выявить ряд общих трудностей и специфичных недостатков применения БВС для линейных объектов:

- низкая продолжительность работы аппаратов;
- проблемы запуска при отрицательных температурах;
- проблемы поиска при аварийном приземлении;
- отсутствие автоматизации процесса мониторинга;
- погодные ограничения эксплуатации аппаратов;
- сильное влияние ветра на результаты мониторинга и пр.

Устранение выявленных недостатков возможно прежде всего путем применения более эффектив-

ных аккумуляторов, разработки научных основ создания устройств автоматического контроля и управления системами обеспечения промышленной и пожарной безопасности линейных объектов нефтегазовой отрасли [18]. Анализ результатов исследований в этой области показал, что в отечественных методиках по применению БВС процесс цифрового обнаружения вовсе не реализован, а всю полезную информацию с монитора принимает человек-оператор на протяжении всего времени мониторинга [19].

Результаты и их обсуждение

По результатам мониторинга линейных объектов нефтегазовой отрасли наиболее пожароопасным из контролируемых параметров является открытое горение, так как оно может повлечь за собой внесение источника зажигания в горючую среду и, как следствие, развитие полномасштабной чрезвычайной ситуации на магистрали нефтегазопровода [16].

Для снижения пожарной и промышленной опасности на объектах нефтегазового комплекса пред-

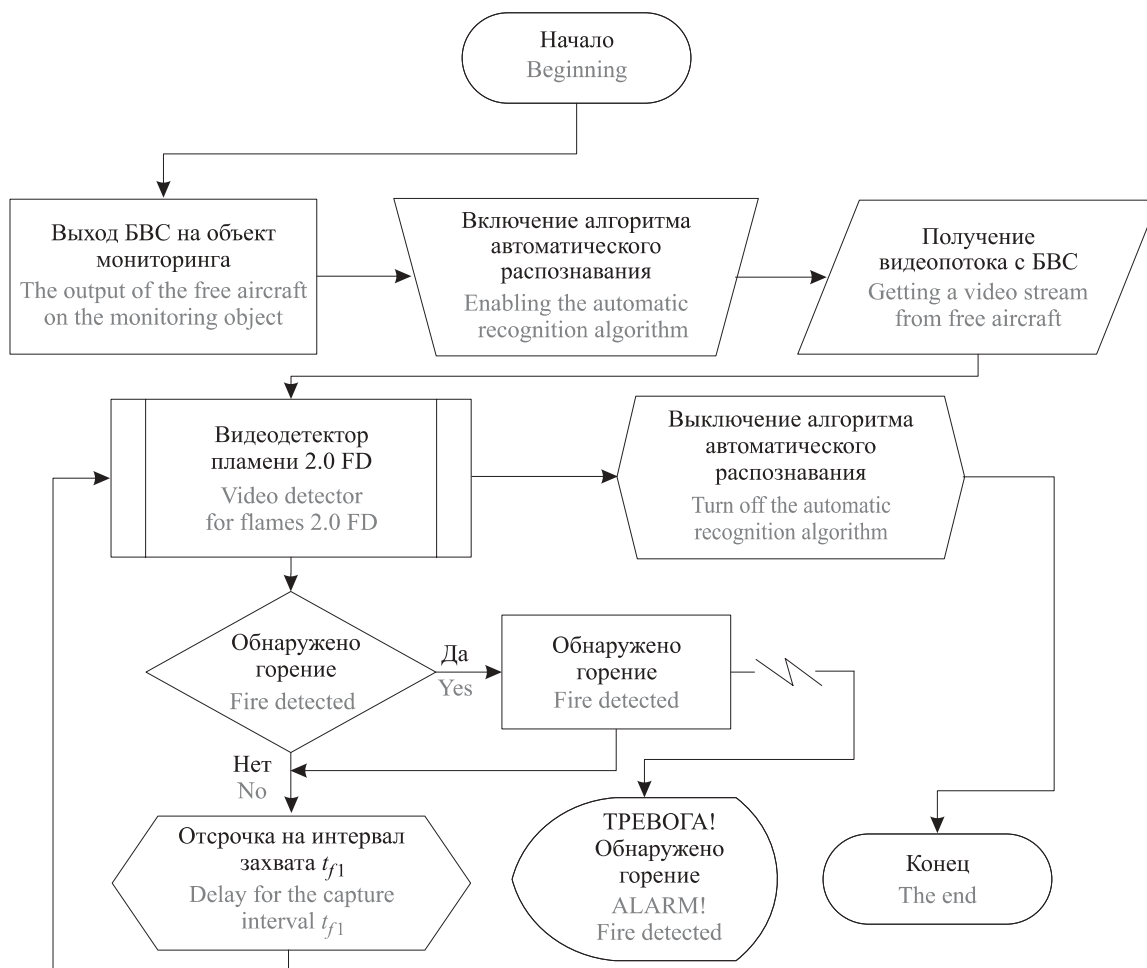


Схема алгоритма методики применения беспилотных воздушных судов для мониторинга линейных объектов нефтегазовой отрасли / Schematic diagram of the technique of free aircraft for monitoring of linear objects of oil and gas industry

лагается оригинальная методика автоматического мониторинга с борта БВС, обеспечивающая обнаружение пламенного горения по видеопrotocolу. При ее реализации будет достигнуто решение следующих частных задач:

1) проверка исследуемой области на наличие горения в режиме реального масштаба времени без участия оператора, с привлечением его лишь при обнаружении пожара;

2) экономия энергии за счет обработки информации штатным микропроцессором без передачи видеопrotocolа на наземную станцию;

3) автоматизация процесса обнаружения с помощью штатного оборудования, без докупки дорогостоящих элементов;

4) возможность расширения области мониторинга за счет вылета за границы передачи устойчивого видеосигнала;

5) автономная работа устройства по выполнению полетного задания с передачей сигнала оператору только в случае обнаружения пожара;

6) повышение надежности обнаружения пожароопасных явлений за счет уменьшения влияния человеческого фактора;

7) обработка информации в режиме реального масштаба времени с возможностью оперативного реагирования на пожароопасную ситуацию.

Алгоритм методики автоматического мониторинга линейных объектов нефтегазовой отрасли с

борта беспилотного воздушного судна, обеспечивающей снижение пожарной опасности, предупреждение пожаров и аварий, представлен схематично на рисунке [20].

Приведенная схема иллюстрирует порядок выполнения программных операций, обеспечивающих автоматизированный мониторинг линейных объектов нефтегазового комплекса на предмет наличия пламенного горения. Данное явление вблизи магистрали представляет собой наиболее неблагоприятный сценарий, ведущий к развитию пожара и аварии.

Заключение

Анализ нормативной документации показал, что применение беспилотных воздушных судов для обеспечения пожарной безопасности линейных объектов нефтегазовой отрасли допустимо при выполнении задач идентификации источника зажигания на ранней стадии до его внесения в горючую среду. В этом контексте использование разработанной методики действительно повышает пожарную безопасность газонефтепроводов, особенно при выполнении данных работ в автоматизированном режиме. В существующей системе обеспечения пожарной безопасности магистралей мониторинг с БВС дополняет уже известные методы, позволяя проводить контроль с высоты, оперативно и без значительных материальных затрат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вытовтов А. В., Калач А. В., Куликова Т. Н.* Алгоритм распознавания пламени с борта беспилотного воздушного судна // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. — 2017. — № 3(24). — С. 86–90.
2. *Capitan J., Merino L., Ollero A.* Cooperative decision-making under uncertainties for multi-target surveillance with multiples UAVs // Journal of Intelligent and Robotic Systems. — 2016. — Vol. 84, No. 1-4. — P. 371–386. DOI: 10.1007/s10846-015-0269-0.
3. *Dalamagkidis K., Valavanis K. P., Piegel L. A.* Current status and future perspectives for unmanned aircraft system operations in the US // Journal of Intelligent and Robotic Systems. — 2008. — Vol. 52, No. 2. — P. 313–327. DOI: 10.1007/s10846-008-9213-x.
4. *Rabta B., Wankmüller C., Reiner G.* A drone fleet model for last-mile distribution in disaster relief operations // International Journal of Disaster Risk Reduction. — 2018. — Vol. 28. — P. 107–112. DOI: 10.1016/j.ijdr.2018.02.020.
5. *Dadashzadeh M., Khan F., Hawboldt K., Amyotte P.* An integrated approach for fire and explosion consequence modelling // Fire Safety Journal. — 2013. — Vol. 61. — P. 324–337. DOI: 10.1016/j.firesaf.2013.09.015.
6. *Mueller E. V., Skowronski N., Clark K., Gallagher M., Kremens R., Thomas J. C., Houssami M. E., Filkov A., Hadden R. M., Mell W., Simeoni A.* Utilization of remote sensing techniques for the quantification of fire behavior in two pine stands // Fire Safety Journal. — 2017. — Vol. 91. — P. 845–854. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.03.076.
7. *Laszlo B., Agoston R., Xu Q.* Conceptual approach of measuring the professional and economic effectiveness of drone applications supporting forest fire management // Procedia Engineering. — 2018. — Vol. 211. — P. 8–17. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.12.132.
8. *Speight J. G.* Oil and gas corrosion prevention: From surface facilities to refineries. — Oxford : Gulf Professional Publishing, 2014. — 150 p. DOI: 10.1016/C2013-0-18548-0.

9. Bahadori A. Oil and gas pipelines and piping systems: Design, construction, management, and inspection. — Oxford : Gulf Professional Publishing, 2017. — 660 p. DOI: 10.1016/C2015-0-00222-2.
10. Королев Д. С. Методика прогнозирования пожароопасных свойств продуктов нефтепереработки для обеспечения пожарной и промышленной безопасности : дис. ... канд. техн. наук. — Воронеж, 2017. — 105 с.
11. Вытовтов А. В., Калач А. В., Сазанова А. А., Лебедев Ю. М. К вопросу о создании беспилотных летательных аппаратов // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. — 2016. — № 2. — С. 87–91.
12. Мазаев А. В., Иванова Ю. В. Особенности технологии изготовления панели двойной кривизны и переменной толщины из композита СИАЛ // Инновации, технологии и бизнес. — 2017. — № 3. — С. 76–82.
13. Thomson J. R. High Integrity Systems and Safety Management in Hazardous Industries. — Oxford : Butterworth-Heinemann, 2015. — 360 p. DOI: 10.1016/C2014-0-01019-2.
14. Ситников И. В., Кривоуст О. Г., Однолюк А. А., Артыщенко С. В. Имитационное моделирование площади пожара с применением метода Монте-Карло в рамках интегральной математической модели пожара // Инженерные системы и сооружения. — 2012. — № 4(9). — С. 75–82.
15. Alamgir N., Nguyen K., Chandran V., Boles W. Combining multi-channel color space with local binary co-occurrence feature descriptors for accurate smoke detection from surveillance videos // Fire Safety Journal. — 2018. — Vol. 102. — P. 1–10. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.09.003.
16. Вытовтов А. В. Методика применения беспилотных воздушных судов для обеспечения пожарной безопасности на нефтегазовых объектах : дис. ... канд. техн. наук. — СПб., 2018. — 112 с.
17. Dunnington L., Nakagawa M. Fast and safe gas detection from underground coal fire by drone fly over // Environmental Pollution. — 2017. — Vol. 229. — P. 139–145. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.05.063.
18. Устюжанина А. Ю., Галкина А. А., Фукалов Д. С., Шарафутдинов А. А., Хайретдинов И. А., Хафизов И. Ф. Разработка и создание веб-приложения по моделированию чрезвычайных ситуаций на опасных производственных объектах нефтегазового комплекса // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. — 2017. — № 1(107). — С. 210–218.
19. Zhao J., Huang H., Jomaas G., Zhong M., Li Y. Spread and burning behavior of continuous spill fires // Fire Safety Journal. — 2017. — Vol. 91. — P. 347–354. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.03.046.
20. Вытовтов А. В., Калач А. В., Трофимец В. Я. Методика автоматизированного мониторинга линейных объектов нефтегазового комплекса с беспилотного воздушного судна // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 4. — С. 50–57. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.50-57.

Материал поступил в редакцию 5 октября 2018 г.

Для цитирования: Калач А. В., Калач Е. В., Вытовтов А. В. Использование беспилотных воздушных судов для обеспечения пожарной безопасности линейных объектов нефтегазовой отрасли // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 12. — С. 49–55. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.12.49-55.

USE OF FREE AIRCRAFT FOR ENSURING THE FIRE SAFETY OF LINEAR OBJECTS OF OIL AND GAS INDUSTRY

A. V. KALACH, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Professor of Department of Civil Defense and Emergency Management, Voronezh Institute – Branch of Ivanovo Fire and Rescue Academy of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail: a_kalach@mail.ru)

E. V. KALACH, Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of Natural-Science Disciplines Voronezh Institute – Branch of Ivanovo Fire and Rescue Academy of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail: EVKalach@gmail.com)

A. V. VYTOVTOV, Lecturer, Department of Fire Safety of Protection Facilities, Voronezh Institute – Branch of Ivanovo Fire and Rescue Academy of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail: taft.rvk@yandex.ru)

ABSTRACT

Introduction. At the present stage for carrying out expeditious monitoring of linear objects of the oil and gas industry use the free aircrafts. The purpose of work is development of a technique of use of free aircrafts for ensuring fire safety of oil and gas pipelines and also justification of a role and the place of use of these devices in the system of ensuring fire safety of linear objects of the oil and gas industry existing and enshrined in normative documents.

Materials and methods. Accidents on oil and gas transport objects, often, are followed by significant material damage. As showed researches, free aircrafts are applicable for ensuring control over fire-dangerous areas, carrying out search works, investigation on major fire in regions of the country and also for obtaining operational information in crisis situations.

Theoretical basis. The main task in the field of fire safety when carrying out monitoring from the free aircraft is fixing of open burning near the pipeline. It can arise in the following conditions: fell fires, burning of the vegetable spreading surface, the local center of burning of hydrocarbons before overflowing in global emergency situation. In the listed cases the efficiency of obtaining information on burning increases fire safety due to conducting prompt actions on fire elimination. Thereby the requirement of Paragraph 1 of Article 50 FZ-123 providing an exception of conditions of emergence of the fire due to prevention of entering into the combustible environment of sources of ignition is fulfilled.

Results and discussion. Free aircrafts are actively used for monitoring of fire and industrial safety of linear objects of the oil and gas industry. However in the long term they need modernization taking into account the requirements and tasks facing the organizations operating the pipeline with the maximum automation of process.

Conclusion. The analysis of the regulatory documentation showed that the use of a drone to ensure the fire safety objectives of the linear objects of the oil and gas industry is permissible when they perform the tasks of identifying the ignition source at an early stage before it is introduced into the combustible environment.

Keywords: emergency situation; accident; oil and gas complex; system of automatic monitoring; fire; monitoring.

REFERENCES

1. A. V. Vytovtov, A. V. Kalach, T. N. Kulikova. Mathematical model of recognition of flame from the board of a free aircraft. *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii / Bulletin of Voronezh Institute of State Firefighting Service of Emercom of Russia*, 2017, no. 3(24), pp. 86–90 (in Russian).
2. J. Capitan, L. Merino, A. Ollero. Cooperative decision-making under uncertainties for multi-target surveillance with multiples UAVs. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 2016, vol. 84, no. 1-4, pp. 371–386. DOI: 10.1007/s10846-015-0269-0.
3. K. Dalamagkidis, K. P. Valavanis, L. A. Piegl. Current status and future perspectives for unmanned aircraft system operations in the US. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 2008, vol. 52, no. 2, pp. 313–327. DOI: 10.1007/s10846-008-9213-x.
4. B. Rabta, C. Wankmüller, G. Reiner. A drone fleet model for last-mile distribution in disaster relief operations. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2018, vol. 28, pp. 107–112. DOI: 10.1016/j.ijdr.2018.02.020.
5. M. Dadashzadeh, F. Khan, K. Hawboldt, P. Amyotte. An integrated approach for fire and explosion consequence modelling. *Fire Safety Journal*, 2013, vol. 61, pp. 324–337. DOI: 10.1016/j.firesaf.2013.09.015.
6. E. V. Mueller, N. Skowronski, K. Clark, M. Gallagher, R. Kremens, J. C. Thomas, M. E. Houssami, A. Filkov, R. M. Hadden, W. Mell, A. Simeoni. Utilization of remote sensing techniques for the quantification of fire behavior in two pine stands. *Fire Safety Journal*, 2017, vol. 91, pp. 845–854. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.03.076.
7. B. Laszlo, R. Agoston, Q. Xu. Conceptual approach of measuring the professional and economic effectiveness of drone applications supporting forest fire management. *Procedia Engineering*, 2018, vol. 211, pp. 8–17. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.12.132.
8. J. G. Speight. *Oil and gas corrosion prevention: From surface facilities to refineries*. Oxford, Gulf Professional Publishing, 2014. 150 p. DOI: 10.1016/C2013-0-18548-0.

9. A. Bahadori. *Oil and gas pipelines and piping systems: Design, construction, management, and inspection*. Oxford, Gulf Professional Publishing, 2017. 660 p. DOI: 10.1016/C2015-0-00222-2.
10. D. S. Korolev. *The method of forecasting fire-hazardous properties of oil refining products to ensure fire and industrial safety*. Cand. tech. sci. diss. Voronezh, 2017. 105 p. (in Russian).
11. A. V. Vytovtov, A. V. Kalach, A. A. Sazanova, Ju. M. Lebedev. Towards the creation unmanned aerial vehicle. *Vestnik BGTU im. V. G. Shukhova / Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov*, 2016, no. 2, pp. 87–91 (in Russian).
12. A. V. Mazaev, Yu. V. Ivanova. Features of manufacturing method of double curved and variable thickness panel made of GLARE composite material. *Innovatsii, tekhnologii i biznes / Innovation, Technology and Business*, 2017, no. 3, pp. 76–82 (in Russian).
13. J. R. Thomson. *High integrity systems and safety management in hazardous industries*. Oxford, Butterworth-Heinemann, 2015. 360 p. DOI: 10.1016/C2014-0-01019-2.
14. I. V. Sitnikov, O. G. Krivopust, A. A. Odnolko, S. V. Artyshchenko. Simulation modeling of the fire area using the Monte-Carlo method in the framework of the integral mathematical model of fire. *Inzhenernyye sistemy i sooruzheniya / Engineering Systems and Constructions*, 2012, no. 4(9), pp. 75–82 (in Russian).
15. N. Alamgir, K. Nguyen, V. Chandran, W. Boles. Combining multi-channel color space with local binary co-occurrence feature descriptors for accurate smoke detection from surveillance videos. *Fire Safety Journal*, 2018, vol. 102, pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.09.003.
16. A. V. Vytovtov. *Methods of using unmanned aircraft to ensure fire safety at oil and gas facility*. Cand. tech. sci. diss. Saint Petersburg, 2018. 112 p. (in Russian).
17. L. Dunnington, M. Nakagawa. Fast and safe gas detection from underground coal fire by drone fly over. *Environmental Pollution*, 2017, vol. 229, pp. 139–145. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.05.063.
18. A. Yu. Ustyuzhanina, A. A. Galkina, D. S. Fukalov, A. A. Sharafutdinov, I. A. Khayretdinov, I. F. Khafizov. Development and creation of a web application for modeling of emergencies at hazardous production facilities of the oil and gas complex. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov / Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2017, no. 1(107), pp. 210–218 (in Russian).
19. J. Zhao, H. Huang, G. Jomaas, M. Zhong, Y. Li. Spread and burning behavior of continuous spill fires. *Fire Safety Journal*, 2017, vol. 91, pp. 347–354. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.03.046.
20. A. V. Vytovtov, A. V. Kalach, V. Ya. Trofimets. Methodology of automated monitoring of linear objects of oil and gas complex with a free aircraft. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 4, pp. 50–57 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.50-57.

For citation: A. V. Kalach, E. V. Kalach, A. V. Vytovtov. Use of free aircraft for ensuring the fire safety of linear objects of oil and gas industry. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 12, pp. 49–55 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.12.49-55.