

**В. П. НАЗАРОВ**, д-р. техн. наук, профессор, профессор кафедры пожарной безопасности технологических процессов, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: npbtp@bk.ru)

**А. А. БОРОДИН**, преподаватель кафедры пожарной автоматики, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: borodin\_ppa@mail.ru)

**А. А. КОРНИЛОВ**, канд. техн. наук, доцент кафедры пожарной автоматики, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: kornilov\_alexei@mail.ru)

**А. Ю. АКУЛОВ**, канд. техн. наук, начальник адъюнктуры, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

**М. А. СПИРИДОНОВ**, д-р хим. наук, главный научный сотрудник научно-исследовательской группы Учебного комплекса платных услуг, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

**М. П. ДАЛЬКОВ**, д-р геогр. наук, профессор кафедры пожарной тактики и службы, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620026, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

УДК 614.8:621.64

## СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАБОРАТОРНЫХ И ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССА ФЛЕГМАТИЗАЦИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Приведены основные результаты численных экспериментов по исследованию процесса флегматизации азотом мембранного воздухоразделения, выполнено их сравнение с данными лабораторных экспериментов. Представлено краткое описание параметров численного моделирования. Выявлены характерные особенности динамики концентраций кислорода в объеме резервуара в течение всего процесса. Выполнена оценка достоверности принятых критериев приближенного моделирования.

**Ключевые слова:** флегматизация; численное моделирование; инертный газ; азот; резервуар; нефтепродукты.

**DOI:** 10.18322/PVB.2015.24.08.49-55

Одним из актуальных направлений исследований является обеспечение пожарной безопасности объектов нефтегазовой отрасли. Согласно ежегодным отчетам [1] в нефтедобывающем и нефтехимическом комплексе в 2012 г. доля оборудования со сроком эксплуатации более 20 лет составила 67 %, а в 2013 г. из-за износа оборудования произошло 50 % аварий. Данный факт предполагает необходимость проведения ремонтных работ, в период которых, по разным источникам, происходит от 20 до 70 % пожаров [1–4].

Одним из способов обеспечения пожарной безопасности емкостного оборудования в указанный период является флегматизация его инертными газами. Данный способ изучен в различной степени как отечественными [5–8], так и зарубежными [9–12] исследователями. Необходимой составляющей изучения данного процесса является эксперимент как

на реальных резервуарах, так и на геометрически подобных моделях с соблюдением критериев подобия. Основные результаты экспериментального исследования процесса флегматизации горизонтальных резервуаров азотом мембранного воздухоразделения были опубликованы ранее [13, 14]. Достоверность приближенного моделирования подтверждена работами многих исследователей [5–8], но в каждом отдельном случае проводится сравнение результатов для моделей, выполненных в различном масштабе, в том числе на промышленных объектах, что может вызывать определенные трудности. Например, при исследовании указанного процесса может возникнуть необходимость в использовании резервуаров стандартных объемов (50, 75 и 100 м<sup>3</sup>), а также мембранной воздухоразделительной установки повышенной мощности, что пропорционально скажется на ее стоимости. В таком случае современной

альтернативой натурному эксперименту может быть эксперимент численный, основанный на применении наукоемких пакетов прикладных программ. Вследствие этого важным представляется решение таких задач, как:

- апробирование программных средств, реализующих сложные численные методы математического моделирования процесса флегматизации, и сравнение результатов численных и натуральных экспериментов;
- выявление и приблизительная оценка неравномерности распределения концентраций кислорода в объеме защищаемого резервуара с помощью визуализации процесса газодинамики;
- выполнение оценки достоверности принятых критериев приближенного моделирования благодаря возможности создания моделей резервуаров горизонтальных стальных (РГС) любых масштабов.

На первоначальном этапе целесообразным представляется проведение серии так называемых оценочных или качественных экспериментов с целью проверки адекватности выбранной математической модели, заданных параметров и граничных условий. После этого возможно составление программы и проведение самостоятельных численных экспериментов на резервуарах различных типоразмеров и масштабов.

В ходе анализа существующих прикладных программ моделирования гидрогазодинамики, таких как “Ansys Fluent” (и входящий в нее пакет “LS-Dyna”), “Gas Dynamics Tool” и “Flow Vision”, был выбран отечественный программный продукт “Flow Vision” версии 3.0.9. Он предназначен для моделирования трехмерных течений жидкости и газа, а также для визуализации этих течений методами компьютерной графики. Базовой в нем является система уравнений Навье – Стокса. Для замыкания системы уравнений используются дополнительные соотношения, описываемые различными моделями. В случае с процессом флегматизации это модель массопереноса смешиваемых компонентов.

Для численного моделирования были выбраны несколько лабораторных экспериментов, проведенных ранее на экспериментальной установке, представленной на рис. 1. В качестве экспериментальных использовались резервуары объемом 0,05; 0,2 и 0,9 м<sup>3</sup>, геометрически подобные друг другу.

В соответствии с характеристиками резервуара (см. рис. 1) была создана его виртуальная 3D-модель и экспортирована в среду “Flow Vision”, где были заданы необходимые параметры: модель расчета, начальные значения температуры, давления, вектора скорости и гравитации. Для случая флегматизации выбрана модель массопереноса со смешиваемыми компонентами. Это означает, что будут решаться уравнение Навье – Стокса (1) и уравнение конвективно-диффузионного переноса (2):

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -(\vec{v} \nabla) \vec{v} + \nu \Delta \vec{v} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \vec{f}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla (VC) = \frac{1}{\rho} \nabla (\rho D \nabla C), \quad (2)$$

где  $\vec{v}$  — векторное поле скоростей;  $\vec{v} = (v^1, \dots, v^n)$ ;

$t$  — время;

$\nabla$  — оператор Набла;

$\nu$  — коэффициент кинематической вязкости;

$\Delta$  — векторный оператор Лапласа;

$\rho$  — плотность;

$p$  — давление;

$\vec{f}$  — векторное поле массовых сил.

Для того чтобы учесть особенности азота, получаемого с помощью мембранной воздухоразделительной установки, дополнительно была выбрана модель теплопереноса и задана температура среды на входе в резервуар. Сама же подаваемая среда задавалась как смесь газообразных азота и кислорода в концентрации соответственно 99 и 1 % об. Физические свойства веществ заданы в программном средстве по умолчанию. Далее были заданы граничные условия на входе, выходе, стенках резервуара и определена расчетная сетка.

Визуализация процесса осуществлялась во всем объеме резервуара через цветовой градиент с авто-



**Рис. 1.** Внешний вид экспериментальной установки: 1 — ПК со специальным программным обеспечением “ZetLab”; 2 — контрольно-измерительный комплекс; 3 — ротаметр; 4 — винтовой компрессор; 5 — мембранный воздухоразделительный модуль; 6 — прибор измерения объема инертного газа; 7 — экспериментальный резервуар (0,9 м<sup>3</sup>) с размещенными в нем датчиками концентрации кислорода

матическим заданием диапазона (с разрешением 11 цветов на 1 % об.), что позволяло контрастно отображать неравномерность распределения концентраций кислорода в каждый момент времени (рис. 2).

Основные результаты численных экспериментов представлены в табл. 1.

На основании результатов численных экспериментов (см. табл. 1) можно сделать следующие основные выводы:

- выбранная математическая модель достаточно адекватно описывает процесс достижения безопасной по кислороду концентрации парогазовой среды резервуара, так как относительная погрешность во всех проведенных экспериментах не превышает 3,6 %;
- наличие погрешности может объясняться тем, что для решения полноразмерной трехмерной задачи турбулентного движения газов необходимо использовать более мелкую расчетную сетку, что потребует значительных вычислительных ресурсов;
- трехмерная визуализация позволяет получить наглядную картину процесса флегматизации и подтвердить наличие областей с концентрацией кислорода, отличной от среднеобъемной.

Для оценки достоверности принятых критериев приближенного моделирования была проведена серия численных экспериментов на резервуарах различных масштабов. Основные параметры и результаты моделирования приведены в табл. 2.

Проведенные численные эксперименты показали, что результаты, получаемые на виртуальных моделях разных масштабов при соблюдении критериев подобия (геометрическое подобие, кратность подачи инертного газа, энергия приточной струи), хорошо согласуются между собой: относительная погрешность не превышает 2,5 %. Таким образом, получен-

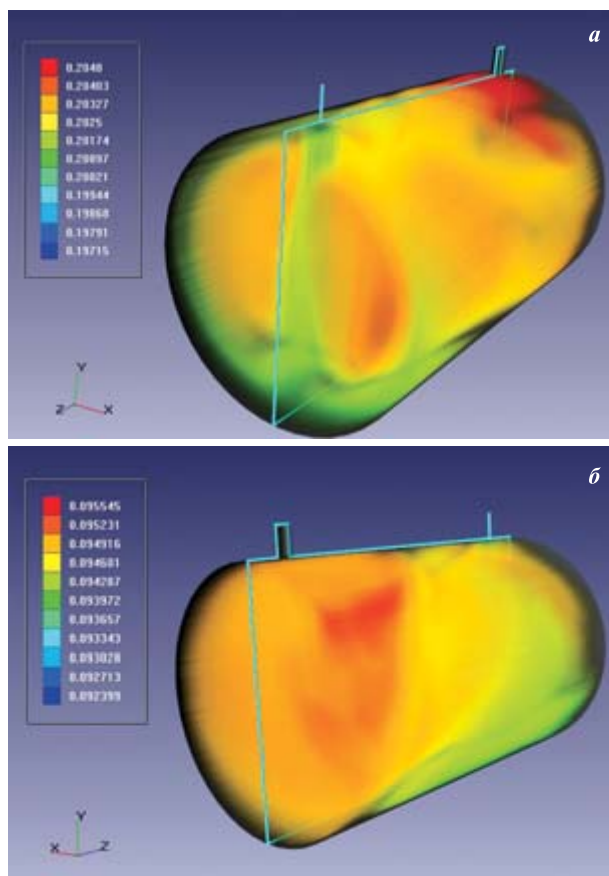


Рис. 2. Распределение концентраций кислорода в резервуаре в начале (а) и по окончании (б) процесса флегматизации

ные на моделях результаты будут также справедливы и для натуральных объектов.

Следует отметить также, что при оценке неравномерности распределения концентрации в ходе численных экспериментов была установлена одна из характерных областей с повышенной концентрацией в течение всего процесса флегматизации. Как видно из рис. 3, эта область находится в районе днища РГС со стороны выходного патрубка. И если контрольный замер концентрации кислорода проводить у вы-

Таблица 1. Результаты численного моделирования

Номер эксперимента	Расход азота, м <sup>3</sup> /ч	Кратность, ч <sup>-1</sup>	Диаметр входного отверстия, мм	Число Рейнольдса Re	Время флегматизации, с			Относительная погрешность, %
					при отсутствии перемешивания среды	экспериментальное	расчетное	
1	0,78	0,87	2	7752,0	4154	5839	6042	3,4
2	0,62	0,69	2	6161,9	5226	7773	7560	2,7
3	0,62	0,69	5	2464,7	5226	6894	7151	3,6
4	0,62	0,69	10	1232,4	5226	7480	7643	2,1
5	0,68	0,76	15	901,1	4765	10152	9850	3,1

Примечания:

1. Под кратностью в данном случае понимается отношение расхода инертного газа к объему резервуара.
2. Время флегматизации экспериментальное и расчетное — время, полученное в результате лабораторных и численных экспериментов соответственно.

Таблица 2. Основные параметры и результаты численного моделирования на РГС различного масштаба

Марка резервуара (масштаб)	Объем РГС, м <sup>3</sup>	Расход азота, м <sup>3</sup> /ч	Кратность, ч <sup>-1</sup>	Диаметр входного отверстия, мм	Re	Время флегматизации расчетное, с	Относительная погрешность, %
РГС-100	100	77,0	0,77	200	7652,6	8100	2,5
РГС-50	50	38,5	0,77	100	7652,6	8029	1,6
РГС-50 (М 1:3)	1,8	1,4	0,77	3,6	7652,6	7900	0,0
РГС-50 (М 1:10)	0,06	0,043	0,77	0,11	7652,6	8901	2,4

Примечание. Продолжительность флегматизации при отсутствии перемешивания среды в каждом случае составляет 4675 с.

ходного отверстия, то можно получить результат, равный приблизительно 6–7 % об., тогда как максимальная концентрация у дна РГС будет составлять около 12 % об., что не соответствует условиям безопасности.

По результатам проведенной работы следует отметить, что, несмотря на достаточно высокую точность получаемых результатов, к численному (поле-вому) моделированию предпочтительнее прибегать на этапе исследований в связи с высокой трудоемкостью освоения программного продукта, значительными объемами и мощностью вычислительных средств и временными затратами, требуемыми для расчетов. Для получения данных по основным параметрам предремонтной подготовки с помощью воздухоразделительной мембранной установки непосредственно на объекте необходима более оперативная работа при незначительных вычислительных ресурсах. Реализовать это позволит программный

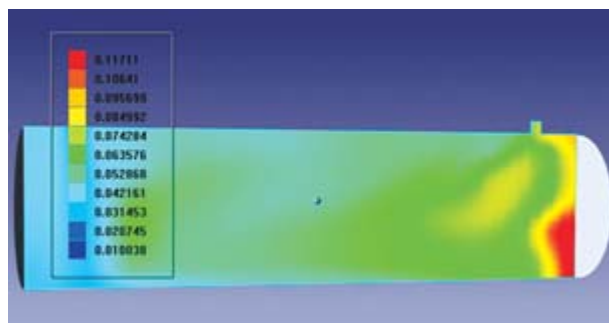


Рис. 3. Распределение концентраций кислорода в продольном сечении РГС-100

продукт, который основан на интегральной математической модели, полученной путем решения системы дифференциальных уравнений, и является практическим результатом исследования процесса флегматизации горизонтальных резервуаров азотом мембранного разделения воздуха.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ежегодные отчеты о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. URL: [http://www.gosnadzor.ru/public/annual\\_reports](http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports) (дата обращения: 22–25.06.2015).
2. Назаров В. П. Обеспечение пожаровзрывобезопасности при ликвидации аварий и ЧС на объектах транспорта и хранения нефти и нефтепродуктов // Актуальные проблемы пожарной безопасности : матер. XXI Междунар. научн.-практ. конф. — М. : ВНИИПО, 2009. — Ч. 1. — С. 166–169.
3. Назаров В. П., Коротовских Я. В. Компьютерные технологии прогнозирования пожаровзрывоопасности производственных объектов // Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал. — 2010. — № 5. — 6 с. URL: <http://ipb.mos.ru/ttb/2010-5/2010-5.html> (дата обращения: 15–19.06.2015).
4. Байбурун Р. А. Перспективы совершенствования организации зачистных и ремонтных работ резервуаров // Матер. 54-й научн.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых Уфимского государственного нефтяного технического университета. — Уфа : УГНТУ, 2003. — С. 83.
5. Корнилов А. А. Повышение безопасности аварийно-ремонтных работ на нефтяных резервуарах способом флегматизации азотом мембранного разделения : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2012. — 23 с.
6. Булгаков В. В. Обеспечение пожаровзрывобезопасности огневых аварийно-ремонтных работ на резервуарах способом флегматизации : дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2001. — 236 с.
7. Назаров В. П. Очистка резервуаров от остатков светлых нефтепродуктов перед проведением огневых ремонтных работ : дис. ... канд. техн. наук. — М. : ВИПТШ, 1980. — 250 с.

8. *Сорокоумов В. П.* Обеспечение пожарной безопасности резервуаров с локальными остатками нефтепродуктов при проведении аварийно-ремонтных работ : дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2002. — 160 с.
9. *Hirst R., Savage N., Booth K.* Measurement of inerting concentrations // *Fire Safety Journal*. — 1981–1982. — Vol. 4, Issue 3. — P. 147–158. DOI: 10.1016/0379-7112(81)90013-8.
10. *Naoshi Saito, Yoshio Ogawa, Yuko Saso, Chihong Liao, Ryuta Sakei.* Flame-extinguishing concentrations and peak concentrations of N<sub>2</sub>, Ar, CO<sub>2</sub> and their mixtures for hydrocarbon fuels // *Fire Safety Journal*. — 1996. — Vol. 27, Issue 3. — P. 185–200. DOI: 10.1016/S0379-7112(96)00060-4.
11. *Schultze M., Horn J.* Modellierung und Nichtlineare Modellprädiktive Regelung des Abluftmassenstroms von Brennstoffzellen // *Automatisierungstechnik*. — 2015. — Vol. 63, Issue 4. — P. 312–321. DOI: 10.1515/auto-2014-1178.
12. *Откідач М. Я.* Флегматизування газових горючих середовищ із застосуванням повітродільних мембранних установок : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Харків, 2001. — 19 с.
13. *Корнилов А. А., Бородин А. А., Барбин Н. М., Зыков П. И., Хужаев А. Т.* Исследование оптимальных схем подачи инертного газа при флегматизации горизонтальных резервуаров // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2014. — Т. 23, № 6. — С. 81–87.
14. *Бородин А. А.* Экспериментальное исследование процесса флегматизации горизонтального резервуара для нефтепродуктов // *Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал*. — 2012. — № 6. — 9 с. URL: <http://ipb.mos.ru/ttb/2012-6/2012-6.html> (дата обращения: 17–19.06.2015).

*Материал поступил в редакцию 17 июня 2015 г.*

**Для цитирования:** *Назаров В. П., Бородин А. А., Корнилов А. А., Акулов А. Ю., Спиридонов М. А., Дальков М. П.* Сравнение результатов лабораторных и численных экспериментов при исследовании процесса флегматизации горизонтальных стальных резервуаров для нефтепродуктов // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2015. — Т. 24, № 8. — С. 49–55. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.08.49-55.

English

## COMPARISON OF RESULTS OF LABORATORY AND NUMERICAL EXPERIMENTS IN STUDY OF THE PHLEGMATIZING OF HORIZONTAL TANKS FOR OIL

**NAZAROV V. P.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Fire Safety of Technological Processes Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 123366, Russian Federation; e-mail address: npbtp@bk.ru)

**BORODIN A. A.**, Lecturer of Fire Automatics Department, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: borodin\_ppa@mail.ru)

**KORNILOV A. A.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Fire Automatics Department, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: kornilov\_alexei1@mail.ru)

**AKULOV A. Yu.**, Candidate of Technical Sciences, Head of Adjuncture, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation)

**SPIRIDONOV M. A.**, Doctor of Chemical Sciences, Chief Researcher of the Research Group, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation)

**DALKOV M. P.**, Doctor of Geographical Sciences, Professor of Tactics and Service Department, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation)

### ABSTRACT

One of the promising methods of fire safety processes of preparation and repair work on tanks for petroleum and petroleum products is desensitization with nitrogen of air separation membrane. The study of this process may be complicated by the need to conduct field experiments in the tanks of

large capacity, which is directly proportional to the impact on the cost of the membrane air separation plant. A modern numerical simulation using the software packages is a possible alternative. The paper presents the main results of numerical modeling of desensitization using the application package “Flow Vision” and fulfilled their comparison with the results of laboratory experiments. It’s get high reproducibility and evaluated the relative error. The accuracy of the adopted criteria approximate simulation is confirmed. The specific places maximum concentrations of oxygen in the amount of horizontal tank are identified by using the visualization process. Despite the high reproducibility, numerical (CFD) modeling preferable to use in step research, due to the high required computational power and duration calculations. To obtain data on the basic parameters of the pre-repair training with the help of the air separation membrane unit on-site work must be more operational. It will implement a software product based on an integrated mathematical model obtained by solving a system of differential equations, which is the practical result of the study of desensitization.

**Keywords:** phlegmatization; numerical simulation; inert gas; nitrogen; tank; petroleum products.

## REFERENCES

1. *Ezhegodnyye otchety o deyatelnosti Federalnoy sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru* [Annual report on the activities of the Federal Service for Ecological, Technological and Nuclear Supervision]. Available at: [http://www.gosnadzor.ru/public/annual\\_reports](http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports) (Accessed 22–25 June 2015).
2. Nazarov V. P. Obespecheniye pozharovzryvobezопасnosti pri likvidatsii avariyy i ChS na obyektakh transporta i khraneniya nefti i nefteproduktov [Fire-fighting in liquidation of emergencies and accidents at the facilities of transportation and storage of crude oil and petroleum products]. *Aktualnyye problemy pozharnoy bezопасnosti: materialy XXI Mezhdunarodnoy nauchn.-prakt. konf.* [Actual Problems of Fire Safety. Proceedings of XXI International Academic and Research Conference]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2009, part 1, pp. 166–169.
3. Nazarov V. P. Korotovskikh Ya. V. Kompyuternyye tekhnologii prognozirovaniya pozharovzryvopasnosti proizvodstvennykh obyektov [Computer technology prediction fire and explosion hazard of production objects]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezопасnosti. Internet-zhurnal — Technology Technospheric Security. Internet-Journal*, 2010, no. 5. 6 p. Available at: <http://ipb.mos.ru/ttb/2010-5/2010-5.html> (Accessed 15–19 June 2015).
4. Bayburin R. A. Perspektivy sovershenstvovaniya organizatsii zachistnykh i remontnykh rabot rezervuarov [Prospects for improving the organization stripping and repair tanks]. *Materialy 54-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh Ufimskogo gosudarstvennogo neftyanogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of 54<sup>th</sup> Scientific and Technical Conference of students, graduate students and young scientists of Ufa State Petroleum Technological University]. Ufa, Ufa State Petroleum Technological University Publ., 2003, p. 83.
5. Kornilov A. A. *Povysheniye bezопасnosti avariyno-remontnykh rabot na neftyanykh rezervuarakh sposobom flegmatizatsii azotom membrannogo razdeleniya: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Increase of safety of emergency repair work on oil tanks in the way of phlegmatization by nitrogen of membrane division. Abstr. cand. tech. sci. diss.]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2012. 23 p.
6. Bulgakov V. V. *Obespecheniye pozharovzryvobezопасnosti ognevykh avariyno-remontnykh rabot na rezervuarakh sposobom flegmatizatsii: dis. kand. tekhn. nauk* [Ensuring fire and explosion safety of fire emergency repair work on tanks in the way of phlegmatization. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2001. 236 p.
7. Nazarov V. P. *Ochistka rezervuarov ot ostatkov svetlykh nefteproduktov pered provedeniyem ognevykh remontnykh rabot: dis. kand. tekhn. nauk* [Cleaning of tanks of the remains of light oil products before carrying out fire repair work. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, High Engineering Fire Technical School Publ., 1980. 250 p.
8. Sorokoumov V. P. *Obespecheniye pozharnoy bezопасnosti rezervuarov s lokalnymi ostatkami nefteproduktov pri provedenii avariyno-remontnykh rabot: dis. kand. tekhn. nauk* [Ensuring fire safety of tanks with the local remains of oil products when carrying out emergency repair work. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2002. 160 p.
9. Hirst R., Savage N., Booth K. Measurement of inerting concentrations. *Fire Safety Journal*, 1981–1982, vol. 4, issue 3, pp. 147–158. DOI: 10.1016/0379-7112(81)90013-8.

10. Naoshi Saito, Yoshio Ogawa, Yuko Saso, Chihong Liao, Ryuta Sakei. Flame-extinguishing concentrations and peak concentrations of N<sub>2</sub>, Ar, CO<sub>2</sub> and their mixtures for hydrocarbon fuels. *Fire Safety Journal*, 1996, vol. 27, issue 3, pp. 185–200. DOI: 10.1016/S0379-7112(96)00060-4.
11. Schultze M., Horn J. Modellierung und Nichtlineare Modellprädiktive Regelung des Abluftmassenstroms von Brennstoffzellen. *Automatisierungstechnik*, 2015, vol. 63, issue 4, pp. 312–321. DOI: 10.1515/auto-2014-1178.
12. Otkidach M. Ya. Flegmatizuvannya gazovikh goryuchikh seredovishch iz zastosuvannyam povitrozodilnikh membrannikh ustanovok: dis. kand. tekhn. nauk [Phlegmatization of combustible gas environments by using an air separation membrane units. Cand. tech. sci. diss.]. Kharkov, 2001. 19 p.
13. Kornilov A. A., Borodin A. A., Barbin N. M., Zikov P. I., Khuzhaev A. T. Issledovaniye optimalnykh skhem podachi inertnogo gaza pri flegmatizatsii gorizontalnykh rezervuarov [Examination of the optimum scheme of supply of inert gas at phlegmatization of horizontal tanks]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 6, pp. 81–87.
14. Borodin A. A. Eksperimentalnoye issledovaniye protsessa flegmatizatsii gorizontalnogo rezervuara dlya nefteproduktov [Experimental study of oxygen reduction of horizontal tanks for petroleum products]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal — Technology Technospheric Security. Internet-Journal*, 2012, no. 6. 9 p. Available at: <http://ipb.mos.ru/ttb/2012-6/2012-6.html> (Accessed 17–19 June 2015).

**For citation:** Nazarov V. P., Borodin A. A., Kornilov A. A., Akulov A. Yu., Spiridonov M. A., Dalkov M. P. Sravneniye rezultatov laboratornykh i chislennykh eksperimentov pri issledovanii protsessa flegmatizatsii gorizontalnykh stalnykh rezervuarov dlya nefteproduktov [Comparison of results of laboratory and numerical experiments in study of the phlegmatizing of horizontal tanks for oil]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 8, pp. 49–55. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.08.49-55.



## Издательство «ПОЖНАУКА»

Предлагает книгу

**А. А. Антоненко, Т. А. Буцынская, А. Н. Членов.**  
**ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**  
**БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ : учебно-справочное пособие**  
 / Под общ. ред. д-ра техн. наук А. Н. Членова



В учебно-справочном пособии изложены основы современного подхода к проблеме комплексного обеспечения безопасности объектов хозяйствования с помощью технических средств и систем; приведены сведения о технической эксплуатации комплексных систем безопасности, а также справочно-методическая информация для решения практических задач по эксплуатации. Дано основное содержание эксклюзивной разработки — ГОСТ Р 53704–2009 “Системы безопасности комплексные и интегрированные”, входящего в отраслевой комплект нормативно-технической документации по данной проблеме.

Книга предназначена для практических работников в области систем безопасности и может быть использована как учебное пособие для подготовки и повышения квалификации специалистов соответствующего профиля.

121352, г. Москва, а/я 43; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: [mail@firepress.ru](mailto:mail@firepress.ru)