

В. В. БУЛГАКОВ, канд. техн. наук, начальник Учебно-научного комплекса "Государственный надзор", Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, 153040, г. Иваново, просп. Строителей, 33; e-mail: vbulgakov@rambler.ru)

А. Л. НИКИФОРОВ, д-р техн. наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры "Пожарная безопасность объектов защиты" (в составе Учебно-научного комплекса "Государственный надзор"), Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, 153040, г. Иваново, просп. Строителей, 33; e-mail: anikiforoff@list.ru)

И. В. КОСТЕРИН, канд. техн. наук, начальник отделения организации научных исследований экспертно-консалтингового отдела, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, 153040, г. Иваново, просп. Строителей, 33; e-mail: kosteriniv@gmail.com)

Е. В. ШИРЯЕВ, преподаватель кафедры "Пожарная безопасность объектов защиты" (в составе Учебно-научного комплекса "Государственный надзор"), Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, 153040, г. Иваново, просп. Строителей, 33; e-mail: shiryaev@bk.ru)

УДК 614.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ОПАСНЫХ РАЗРЯДОВ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА КАК ИСТОЧНИКА ЗАЖИГАНИЯ ПРИ ПРОДУВКЕ ОБОРУДОВАНИЯ СО ВЗРЫВООПАСНОЙ СРЕДОЙ ИНЕРТНЫМ ГАЗОМ

Приведен обзор научных работ в области исследования статического электричества, опасности его проявления в условиях взрывоопасных производств, при наличии паровоздушных и газоздушных смесей, где искровые разряды могут привести к воспламенению горючей среды, вызвать пожар или взрыв. Представлены результаты научных исследований в области нейтрализации зарядов статического электричества. Рассмотрена проблема возможности образования опасных разрядов статического электричества, которые могут являться источником зажигания в условиях продувки емкостного оборудования со взрывопожароопасной средой инертным газом. Установлено, что в различных нормативных документах существуют противоречия в вопросах использования инертных газов, в частности углекислого газа, в качестве флегматизатора горючих смесей в емкостном технологическом оборудовании из-за возможности образования разрядов статического электричества. Для исследования опасности проявления статического электричества в процессе флегматизации углекислым газом емкостей со взрывоопасной средой разработана методика и экспериментальный стенд. На основании проведенных экспериментальных исследований предложены методы и условия безопасного использования углекислого газа в качестве флегматизатора емкостей со взрывоопасной средой.

Ключевые слова: разряды статического электричества; флегматизация; углекислый газ; емкостное технологическое оборудование; взрывопожароопасная среда.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.07.27-33

Явление электризации представляет собой опасность в условиях взрывоопасных производств, при наличии паро-, газо- и пылевоздушных смесей, образующих взрывоопасную среду, способную воспламениться от искровых разрядов, что может привести к пожару или взрыву.

Электризация происходит и при барботировании газа сквозь слой жидкости, и при разбрызгивании жидкости или распылении ее струей газа. Если хотя бы одно из взаимодействующих тел не является

электропроводным, то возникающий избыток заряда сохраняется на нем, и тело оказывается электрически заряженным. Наиболее сильно электризация проявляется при высоких скоростях или развитых поверхностях контакта, т. е. при фильтровании, смешении или распылении [1, 2].

В работах [3, 4] показано, что при зажигании горючей смеси искровым зарядом конденсатора (емкостная искра) всегда требуется меньше тепла, чем при применении любого другого источника воспла-

менения. Следовательно, искровой разряд, в том числе статического электричества, представляет собой самый эффективный, а следовательно, и самый опасный источник воспламенения. Основным параметром, определяющим воспламеняющую способность искрового разряда, является энергия, выделяющаяся в искровом канале. Для зажигания парогазовой смеси требуется наименьшая энергия в том случае, если концентрация этой смеси оптимальна. Эксперименты показывают, что для паро- и газозвдушных смесей оптимальная концентрация всегда несколько выше стехиометрической [5]. С ростом давления и температуры минимальная энергия зажигания смеси уменьшается [6, 7]. Статическое электричество может быть источником воспламенения при наличии следующих условий [8]:

1) существование источника статических зарядов, образующегося при истечении пара, воздуха или газа, содержащих капли конденсированной влаги или твердые частицы, и т. п.;

2) накопление зарядов на контактирующих поверхностях, и достаточность разности потенциалов на них для возникновения электрического разряда;

3) наличие электрических разрядов с энергией, достаточной для воспламенения данной горючей смеси;

4) возникновение электрических разрядов в горючей смеси.

Существуют известные способы устранения опасности проявлений статического электричества, которые совершенствуются с учетом особенностей различных технологических процессов. В работе [9] представлено описание нейтрализатора электростатических зарядов для повышения взрыво- и пожаробезопасности трубопроводов и систем хранения нефти.

В публикации [10] исследованы вопросы статической электризации перекачиваемых нефтепродуктов, выведена вероятность воспламенения паров нефтепродукта в смеси с кислородом воздуха с использованием методики расчета энергии искр статического электричества, а также приведены способы снижения электризации нефтепродуктов.

В работе [11] представлены новые подходы к изучению методов нейтрализации статического электричества в промышленности.

Автором [12] разработан прибор для измерения удельного заряда статического электричества в потоке жидкости или аэрозолей, который позволяет изучать кинетику процессов образования и релаксации зарядов в твердых телах, жидкостях и аэродисперсных системах; проводить измерение счетной и массовой концентрации заряженных частиц; исследовать электроповерхностные и электрооптические явления в аэрозольных системах. Кроме

того, предложена система автоматической нейтрализации зарядов статического электричества.

В работах [13–15] изложены основные сведения по электростатической безопасности пожаро- и взрывоопасных производств, а также рассмотрены принципы измерения параметров электризации, методы и установки для исследования электростатических характеристик различных материалов. Даны рекомендации по оценке электростатической безопасности технологических процессов и описаны методы и устройства защиты от статического электричества.

Флегматизация газового пространства инертными газами является одним из перспективных способов обеспечения пожаровзрывобезопасности огневых аварийно-ремонтных работ на резервуарах с наличием остатков горючих жидкостей. Согласно [16] флегматизация — это процесс замещения кислорода воздуха (или другого окислителя) инертным газом в горючей газовой смеси. В качестве флегматизаторов применяются такие инертные газы, как диоксид углерода (углекислый газ) CO_2 , азот N_2 , аргон Ar , продукты сгорания, химически активные ингибиторы горения (хладоны и комбинированные составы на их основе). Чаще всего используют азот, углекислый газ и дымовые газы. В результате введения инертных добавок содержание кислорода в газовом пространстве резервуара снижается до минимально допустимой концентрации в присутствии определенного флегматизатора, и паровоздушная смесь становится невзрывоопасной.

Опасность использования углекислотных огнетушителей во взрывоопасной среде, а также поражения человека разрядами статического электричества при обращении с углекислотными и порошковыми огнетушителями рассмотрена в работе [14]. Согласно [14, 17, 18] в процессе высвобождения жидкой углекислоты в области ее струи может возникать высокий электрический заряд, приводящий к образованию разрядов, которые в определенных условиях могут вызвать воспламенение взрывоопасной среды.

При использовании ручных углекислотных огнетушителей в качестве источника инертного газа при флегматизации горючих смесей в замкнутом объеме иногда происходили взрывы [14, 19]. Причиной этих взрывов было возникновение электростатического разряда между переносным огнетушителем и заземленными частями емкости. В результате снегообразования при резком расширении сжатого газа и движения снега по поверхности коммуникационных линий на конце раструба огнетушителя происходит накопление электростатического заряда. Если огнетушитель не заземлен (например, переносной), то не исключено появление искры, которая может вызвать воспламенение горючего газа или паров го-

рючей жидкости. Напряженность электростатического поля при использовании переносных огнетушителей составляет 500–1300 кВ/м, а хорошо заземленных стационарных огнетушителей — 50–170 кВ/м.

В работе [20] в качестве критерия опасности статического электричества используется напряженность электростатического поля и предлагается условие безопасности:

$$E_{\text{кр}} \leq 2,652 W_{\text{min}}^{1,4} / q_{\text{min}}, \quad (1)$$

где $E_{\text{кр}}$ — критическая напряженность электростатического поля, кВ/м;

W_{min} — минимальная энергия зажигания парогазовой смеси, мДж;

q_{min} — минимальный воспламеняющий заряд, Кл.

В результате преобразований (1) с учетом коэффициента безопасности получена критическая напряженность электростатического поля $E_{\text{кр}} = 35$ кВ/м.

Согласно исследованиям [21] продувка инертными газами приводит к возникновению электростатического заряда. Однако, как показывают эксперименты, проведенные на танкерах “Волгонефть”, напряженность поля не достигала опасных значений и составляла 150–250 кВ/м.

По данным [22] опасной напряженностью электростатического поля является 500 кВ/м. Средняя напряженность электростатического поля, при которой возможен разряд, составляет 400–500 кВ/м для резконеоднородного электрического поля, 150–200 кВ/м — для слабонеоднородного и до 300 кВ/м — для однородного [23]. По ГОСТ 31613–2012 разряды статического электричества с неметаллических участков поверхностей заземленных изделий из электропроводящих конструкционных материалов в смесях горючего с воздухом отсутствуют, если в рассматриваемой системе исключены разрядные промежутки с разностью потенциалов, превышающей 300 В.

В правилах [24] запрещается проводить флегматизацию емкостей со взрывоопасной средой углекислым газом. Другие нормативные документы (например, ГОСТ 12.1.004–91, СП 156.13130.2014 [25]), напротив, рекомендуют использовать инертные газы, к которым относится и углекислый газ, для флегматизации замкнутых взрывоопасных объемов. Нормативные документы зарубежных стран [18] не запрещают использование углекислотных противопожарных систем для защиты зон, где может существовать взрывоопасная среда, при условии использования металлических патрубков (сопла, насадки), которые должны быть заземлены.

На основании литературного обзора пришли к выводу о необходимости проведения экспериментальных исследований в целях выявления опасности проявления статического электричества в про-

цессе флегматизации углекислым газом емкостей со взрывоопасной средой при использовании в качестве источника инертного газа баллона с углекислотой, оборудованного редуктором и линией подачи газа.

Для исследования электростатической опасности процесса продувки углекислым газом использовался специально разработанный экспериментальный стенд (рис. 1).

Углекислый газ подавался по одной из четырех схем, представленных на рис. 1 (поз. 14, 15, 16 и 17). Подача углекислого газа осуществлялась с расходом от 26,8 до 107 л/мин. Такой расход выбирался исходя из программируемой кратности продувки при изучении процессов флегматизации, которая варьировалась от 2,5 до 10 объемов в час. Датчик контроля электростатического поля был установлен как в зоне струи подаваемого газа, на различных расстояниях от среза раструба, по которой подавался CO_2 , так и вне зоны струи. В экспериментах менялся режим заземления продуваемой емкости и системы подачи CO_2 .

Результаты экспериментальных исследований образования опасных значений статического электричества при продувке экспериментального резервуара CO_2 представлены на рис. 2 и 3.

На основании полученных экспериментальных данных можно сделать следующие выводы:

- увеличение расхода (скорости истечения) углекислого газа приводит к повышению напряжен-

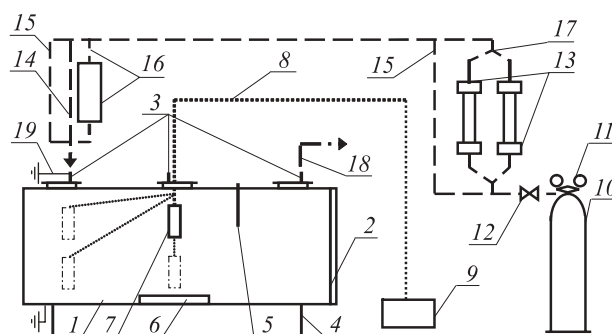


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментального стенда для исследования электростатической опасности процесса продувки емкости углекислым газом: 1 — цилиндрический резервуар, изготовленный из стали, вместимостью 0,643 м³; 2 — противовзрывная мембрана; 3 — штуцеры с трубками для подачи углекислого газа и выброса парогазовой смеси; 4 — подставка; 5 — термометр; 6 — емкость для нефтепродукта; 7, 8, 9 — прибор ПКУ-01 с линией связи и выносным зондом для контроля статической электризации; 10 — баллон с углекислотой; 11 — редуктор; 12 — вентиль точной регулировки; 13 — ротаметры РМ-6,3 ГУЗ, с суммарным максимальным расходом по углекислому газу 10,53 м³/ч; 14 — газовая линия длиной 1 м (схема 1); 15 — газовая линия длиной 5 м (схема 2); 16 — газовая линия, включающая релаксационную емкость вместимостью 2,2 л, длиной 1,5 м (схема 3); 17 — газовая линия длиной 10 м (схема 4); 18 — линия выброса парогазовой смеси; 19 — заземление

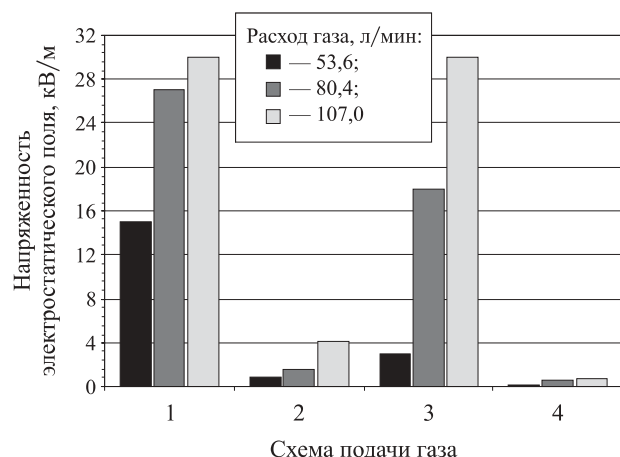


Рис. 2. Напряженность электростатического поля при продувке экспериментального резервуара (ЭР) углекислым газом в режиме без заземления при расстоянии от датчика до среза раструбы 0,3 м и при различных схемах подачи CO_2

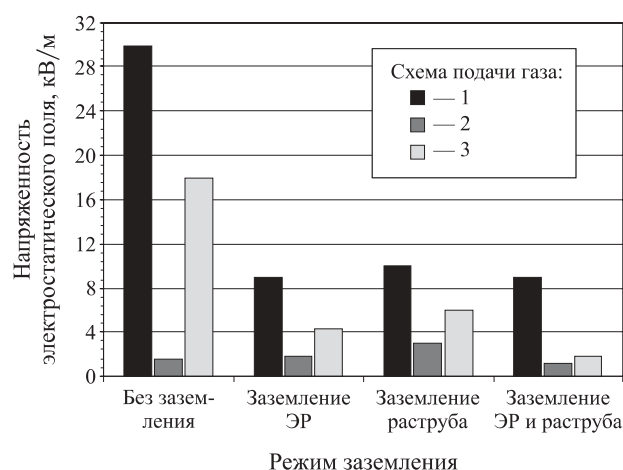


Рис. 3. Напряженность электростатического поля при продувке ЭР углекислым газом с расходом 80,4 л/мин при расстоянии от датчика до среза раструбы 0,3 м и при различных режимах заземления

ности электростатического поля независимо от схем подачи флегматизатора, применяемых в экспериментальных исследованиях (см. рис. 2). Для

обеспечения безопасной продувки технологических резервуаров со взрывоопасной средой расход углекислого газа не должен превышать 100 л/мин при использовании в качестве раструбы медной трубки с диаметром, соответствующим диаметру резинового шланга напорного типа;

- схемы, включающие в себя резиновый шланг напорного типа наибольшей длины, по которому подается углекислый газ, являются более безопасными в плане образования статического электричества, чем схемы с меньшей длиной шланга (см. рис. 2). Увеличение длины линии подачи от резервуара с углекислотой до флегматизируемой емкости с 1 м (схема подачи 1) до 10 м (схема подачи 4) при одинаковом расходе углекислого газа позволяет снизить напряженность электростатического поля с 30 до 0,7 кВ/м (т. е. в 43 раза);
- наилучшим режимом заземления является одновременное заземление экспериментального резервуара и раструбы подачи углекислого газа (см. рис. 3). При режиме подачи углекислого газа с заземлением экспериментального резервуара и раструбы напряженность электростатического поля снижается с 30 до 9 кВ/м (в 3,3 раза) по сравнению с незаземленным режимом при длине линии подачи углекислого газа 1 м;
- в зоне компактной струи вероятность статической электризации повышается, а по мере рассеивания струи и уменьшения ее скорости — снижается. Вне зоны струи CO_2 напряженность электростатического поля не превышает 1 кВ/м.

Таким образом, на основании экспериментальных исследований для обеспечения безопасного режима продувки емкостного технологического оборудования со взрывоопасной средой углекислым газом рекомендуется снижение расхода (скорости истечения) углекислого газа с одновременным увеличением длины линии подачи и заземлением резервуара и раструбы подачи углекислого газа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Журавлев В. С., Гефтер П. Л., Бобков А. С. Методы и средства защиты организма человека от статического электричества. — М. : ДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1968. — 172 с.
2. Klinkenberg A., van der Minne J. L. Electrostatics in the petroleum industry. — New York : Elsevier Publishing Co., 1958. — 210 p.
3. Морган Д. Д. Принципы зажигания. — М. : Машгиз, 1947. — 128 с.
4. Jones E. V., Marshall W. L. Aqueous systems at high temperature—XIII: Investigations on the system $\text{UO}_3 - \text{Li}_2\text{O} - \text{SO}_3 - \text{D}_2\text{O}$; liquid-liquid immiscibility and critical phenomena, 300–410 °C // Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry. — 1964. — Vol. 26, No. 2. — P. 281–285. DOI: 10.1016/0022-1902(64)80071-3.
5. Льюис Б., Эльбе Г. Горение, пламя и взрывы в газах. — М. : Мир, 1968. — 592 с.
6. Хитрина Л. Н., Попова В. А. Основы горения углеводородных топлив. — М. : Изд-во иностр. лит., 1960. — 664 с.

7. Fenn J. B. Lean flammability limit and minimum spark ignition energy. Commercial fluids and pure hydrocarbons // Industrial & Engineering Chemistry. — 1951. — Vol. 43, No. 12. — P. 2865–2869. DOI: 10.1021/ie50504a057.
8. Попов Б. Г., Веревкин В. Н., Бондарь В. А., Горшков В. И. Статическое электричество в химической промышленности. — Л. : Химия, 1971. — 208 с.
9. Кицис С. И., Власова Е. П. Повышение взрыво- и пожаробезопасности трубопроводов и систем хранения нефти путем нейтрализации зарядов статического электричества // Нефтепромышленное дело. — 2008. — № 7. — С. 50–55.
10. Кокорин В. В., Контобойцев Е. А., Контобойцева М. Г., Хафизов Ф. Ш. Актуальные вопросы обеспечения безопасности процессов транспортировки и хранения нефти и нефтепродуктов // Безопасность жизнедеятельности. — 2013. — № 4. — С. 13–16.
11. Иванов А. В. Новые подходы в изучении методов нейтрализации статического электричества в промышленности при подготовке специалистов пожарно-технического профиля ГПС МЧС России // Подготовка кадров в системе предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций : материалы международной научно-практической конференции. — СПб. : Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2006. — С. 12–14.
12. Сушко Б. К. Измерительные преобразователи параметров электростатических полей и заряженных дисперсных материалов : дис. ... д-ра техн. наук / Уфимский государственный авиационный технический университет. — Уфа, 2008. — 207 с.
13. Овчаренко А. Г., Раско С. Л. Электростатическая безопасность пожаро- и взрывоопасных производств. — Бийск : Алтайский государственный технический университет, 2006. — 20 с.
14. Веревкин В. Н., Смелков Г. И., Черкасов В. Н. Электростатическая искробезопасность и молниезащита. — М. : МИЭЭ, 2006. — 170 с.
15. Pratt Thomas H. Electrostatic ignitions of fires and explosions. — New York : American Institute of Chemical Engineers, 2000. — 182 p. DOI: 10.1002/9780470935156.
16. Корольченко А. Я. Процессы горения и взрыва. — М. : Пожнаука, 2007. — 266 с.
17. Стрижевский И. И. О предельном содержании кислорода в инертных продувочных газах // Безопасность труда в промышленности. — 1964. — № 3. — С. 25–27.
18. NFPA 12. Standard on carbon dioxide extinguishing systems. 2015 Edition [Стандарт на углекислотные противопожарные системы]. — Quincy, Massachusetts : NFPA, 2015. — 67 p.
19. Таубкин С. И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы. — М. : ВНИИПО МВД РФ, 1999. — 600 с.
20. Назаров В. П. Пожаровзрывобезопасность предремонтной подготовки и проведения огневых работ на резервуарах : дис. ... д-ра техн. наук / ВИПТШ МВД РФ. — М., 1995. — 444 с.
21. Кузнецов Л. А., Пузаров В. А. Электростатические поля, возникающие при очистке речных танкеров от остатков нефтепродуктов // Реф. сб. Сер.: Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. — М. : ВНИИОЭНГ, 1979. — № 6. — С. 25–29.
22. Owens J. E. Spark ignition hazards caused by charge induction // Plant/Operations Progress. — 1988. — Vol. 7, No. 1. — P. 37–39. DOI: 10.1002/prsb.720070110.
23. Черкасов В. Н. Защита взрывоопасных сооружений от молнии и статического электричества. — М. : Стройиздат, 1984. — 80 с.
24. ВППБ 01-03-96. Правила пожарной безопасности для предприятий АК “Транснефтепродукт” (взамен ППБО 104-83). — Введ. 27.01.1997. URL: http://gostrf.com/norma_data/42/42060/index.htm (дата обращения: 09.03.2016).
25. СП 156.13130.2014. Станции автомобильные заправочные. Требования пожарной безопасности. — Введ. 01.07.2014. URL: <http://www.mchs.gov.ru/document/3744769> (дата обращения: 09.03.2016).

Материал поступил в редакцию 29 марта 2016 г.

Для цитирования: Булгаков В. В., Никифоров А. Л., Костерин И. В., Ширяев Е. В. Исследование возможности образования опасных разрядов статического электричества как источника зажигания при продувке оборудования со взрывоопасной средой инертным газом // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 7. — С. 27–33. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.07.27-33.

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF APPERANCE OF HAZARDOUS DISCHARGES OF STATIC ELECTRICITY AS AN IGNITION SOURCE WHILE PURGING THE EXPLOSIVE EQUIPMENT WITH INERT GAS

BULGAOV V. V., Candidate of Technical Sciences, Head of Educational-Scientific Complex "State Supervision", Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation; e-mail address: kosteriniv@gmail.com)

NIKIFOROV A. L., Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Professor of Fire Safety Protection Facilities Department (in Educational and Scientific Complex "State Supervision"), Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation; e-mail address: anikiforoff@list.ru)

KOSTERIN I. V., Candidate of Technical Sciences, Head of Research Expertise and Consulting Department, Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation; e-mail address: kosteriniv@gmail.com)

SHYRYAEV E. V., Lecturer of Fire Safety Protection Facilities Department (in Educational and Scientific Complex "State Supervision"), Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation; e-mail address: shiryayev@bk.ru)

ABSTRACT

Review of scientific works in the field of study of static electricity has shown the existing danger of its manifestation in the conditions of hazardous industries in the presence of vapor and gas mixture, where sparks can ignite combustible environment, cause a fire or explosion.

When the ignition of the combustible mixture spark charge capacitor (capacitive spark) always it's required less heat than with any other ignition source. Therefore, spark discharge, including static electricity, is the most efficient and therefore the most dangerous source of ignition.

There are known ways to eliminate the danger of static electricity, which improved allowing for the different processes. A review of scientific works in the field of neutralization of static charges is presented.

It is shown that the problem of the possibility of hazardous discharges of static electricity, which can be a source of ignition under conditions of storage equipment with explosive purge inert gas. For example, during the release of liquid carbon dioxide may be formed in the region of its high electrical charge jet, leading to the formation of sparks, which in certain circumstances can cause an outbreak in an explosive atmosphere.

It was found that different regulations exist contradictions in the use of inert gases, in particular carbon dioxide, as a deterrent combustible mixtures in a capacitive process equipment due to possible static electricity discharges.

Based on the literature review it was arisen a need for pilot studies to identify the dangers of static electricity during desensitization carbon dioxide containers with a potentially explosive environment.

To investigate the dangers of static electricity during desensitization carbon dioxide containers with a potentially explosive atmosphere there are worked out the technique and experimental stand.

On the basis of experimental studies methods and conditions of safe use of carbon dioxide as a deterrent containers with explosive atmosphere were suggested. The most effective and safe condition capacitive flushing process equipment with a potentially explosive atmosphere is carbon dioxide savings (exhaust velocity) of carbon dioxide with increasing length of the line feed and simultaneous grounding of the tank and the socket supply of carbon dioxide.

Keywords: discharges of static electricity; desensitization; carbon dioxide; capacitive technology equipment; explosive atmosphere.

REFERENCES

1. Zhuravlev V. S., Gefter P. L., Bobkov A. S. *The methods and the human body protection against static electricity*. Moscow, DNTP im. F. E. Dzerzhinskogo Publ., 1968. 172 p. (in Russian).
2. Klinkenberg A., van der Minne J. L. *Electrostatics in the petroleum industry*. New York, Elsevier Publishing Co., 1958. 210 p.

3. Morgan D. D. *Principles of ignition*. Moscow, Mashgiz Publ., 1947. 128 p. (in Russian).
4. Jones E. V., Marshall W. L. Aqueous systems at high temperature—XIII: Investigations on the system $\text{UO}_3 - \text{Li}_2\text{O} - \text{SO}_3 - \text{D}_2\text{O}$; liquid-liquid immiscibility and critical phenomena, 300–410 °C. *Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry*, 1964, vol. 26, no. 2, pp. 281–285. DOI: 10.1016/0022-1902(64)80071-3.
5. Lyuis B., Elbe G. *Burning, flames and explosions in gases*. Moscow, Mir Publ., 1968. 592 p. (in Russian).
6. Khitrina L. N., Popova V. A. *Fundamentals of combustion of hydrocarbon fuels*. Moscow, Izd-vo inostr. lit., 1960. 664 p. (in Russian).
7. Fenn J. B. Lean flammability limit and minimum spark ignition energy. Commercial fluids and pure hydrocarbons. *Industrial & Engineering Chemistry*, 1951, vol. 43, no. 12, pp. 2865–2869. DOI: 10.1021/ie50504a057.
8. Popov B. G., Verevkin V. N., Bondar V. A., Gorshkov V. I. *Static electricity in the chemical industries*. Leningrad, Khimiya Publ., 1971. 208 p. (in Russian).
9. Kitsis S. I., Vlasova E. P. Increasing the explosion and fire pipelines and oil storage systems by neutralizing static electricity. *Neftepromyslovoye delo (Oilfield Engineering)*, 2008, no. 7, pp. 50–55 (in Russian).
10. Kokorin V. V., Kontoboytsev E. A., Kontoboytseva M. G., Khafizov F. Sh. Actual issues of security processes in oil products transportation and storage. *Bezopasnost zhiznedeyatelnosti (Life Safety)*, 2013, no. 4, pp. 13–16 (in Russian).
11. Ivanov A. V. New approaches to the study of methods of neutralization of static electricity in industry in the training of fire-technical profile of State Fire Service of Emercom of Russia. In: *Raining in the system of prevention and liquidation of consequences of emergency situations. Proceedings of the International scientific-practical conference*. Saint Petersburg, Sankt-Peterburgskiy universitet GPS MChS Rossii Publ., 2006, pp. 12–14 (in Russian).
12. Sushko B. K. *Transmitters electrostatic field parameters and charged particulate materials*. Dr. tech. sci. diss. Ufa, 2008. 207 p. (in Russian).
13. Ovcharenko A. G., Rasko S. L. *Electrostatic safety against fire and explosive industries*. Biysk, Altayskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet Publ., 2006. 20 p. (in Russian).
14. Verevkin V. N., Smelkov G. I., Cherkasov V. N. *Electrostatic spark and lightning*. Moscow, MIEE Publ., 2006. 170 p. (in Russian).
15. Pratt Thomas H. *Electrostatic ignitions of fires and explosions*. New York, American Institute of Chemical Engineers, 2000. 182 p. DOI: 10.1002/9780470935156.
16. Korolchenko A. Ya. *Combustion and explosion*. Moscow, Pozhnauka Publ., 2007. 266 p. (in Russian).
17. Strizhevskiy I. I. On the limiting oxygen content in the inert gas purge. *Bezopasnost truda v promyshlennosti (Occupational Safety in Industry)*, 1964, no. 3, pp. 25–27 (in Russian).
18. *NFPA 12. Standard on carbon dioxide extinguishing systems*. 2015 Edition. Quincy, Massachusetts, NFPA, 2015. 67 p.
19. Taubkin S. I. *Fire and explosion, especially their expertise*. Moscow, VNIPO MVD RF Publ., 1999. 600 p. (in Russian).
20. Nazarov V. P. *Fire and explosion safety prerepair preparation and conduct of hot work on tanks*. Dr. tech. sci. diss. Moscow, 1995. 444 p. (in Russian).
21. Kuznetsov L. A., Puzarov V. A. Electrostatic fields generated in the purification of river tankers from oil residues. In: *Transport i khraneniye nefi i nefteproduktov (Transport and storage of oil and oil products)*. Moscow, VNIIOENG Publ., 1979. no. 6, pp. 25–29 (in Russian).
22. Owens J. E. Spark ignition hazards caused by charge induction. *Plant/Operations Progress*, 1988, vol. 7, no. 1, pp. 37–39. DOI: 10.1002/prsb.720070110.
23. Cherkasov V. N. *Protection of hazardous installations from lightning and static electricity*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1984. 80 p. (in Russian).
24. *VPPB 01-03–96. Fire safety regulations for enterprises of JSC “Transnefteprodukt”* (in Russian). Available at: http://gostrf.com/norma_data/42/42060/index.htm (Accessed 9 March 2016).
25. *Set of rules 156.13130.2014. Car refueling stations. Fire safety requirements* (in Russian). Available at: <http://www.mchs.gov.ru/document/3744769> (Accessed 9 March 2016).

For citation: Bulgakov V. V., Nikiforov A. L., Kosterin I. V., Shyryaev E. V. Investigation of the possibility of appearance of hazardous discharges of static electricity as an ignition source while purging the explosive equipment with inert gas. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 7, pp. 27–33. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.07.27-33.