

УДК 661.21 537.24

*Р. И. Нигметов, Н. Н. Паршин,  
Н. В. Попадин, А. Ф. Нурахмедова, И. Г. Сухорев*

## О ПРЕДОТВРАЩЕНИИ НАКОПЛЕНИЯ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА ГРАНУЛИРОВАННОЙ СЕРОЙ

В процессах производства и отгрузки гранулированной серы, способной накапливать заряды статического электричества и склонной к возгораниям с выделением диоксида серы, использование методов по снижению интенсивности электризации частиц серы – чрезвычайно актуальная задача. Соударение гранул серы и вибрация, сопровождающие технологические операции в процессе производства гранулированной серы, являются причиной образования серной мелочи и пыли, а трение частиц серы между собой приводит к накоплению статического электрического заряда, способного стать источником зажигания взвеси пыли. В настоящее время задача по предотвращению проявлений статического электричества на производстве решается способами, основанными на обработке гранулированной серы водой и раствором пылеподавителя. В качестве пылеподавителя используется реагент на основе метилового эфира дипропиленгликоля, этоксилированного спирта, алкиларилсульфоната калия и воды в массовом соотношении 1/1,5/3/8–1/1,5/4/27, при этом содержание реагента в растворе пылеподавителя не превышает 1 % масс. Такие способы борьбы с пылеобразованием и электризацией серы имеют существенные недостатки: так, увлажнение серы технической водой и раствором пылеподавителя невозможно осуществлять в зимний период вследствие замерзания водных растворов. Смерзание раствора пылеподавителя можно устранить, заменив его на реагент, в состав которого могут входить аналоги используемых реагентов со свойствами, обеспечивающими устойчивость разработанной композиции к отрицательным значениям температуры. Кроме подбора эффективного реагента для обработки гранулированной серы, предлагаются и другие варианты решения проблемы: использование заземляющего устройства, снимающего заряд с перемещающегося потока гранул серы, и использование нейтрализаторов.

**Ключевые слова:** статическое электричество, гранулированная сера, возгорание серы, уменьшение электризации, обработка пылеподавателем, состав пылеподавителя, незамерзающий раствор.

### Введение

В процессах производства и отгрузки гранулированной серы, способной накапливать заряды статического электричества и склонной к возгоранию с выделением диоксида серы, использование методов по снижению интенсивности электризации частиц серы является чрезвычайно актуальной задачей.

Соударение гранул серы и вибрация, сопровождающие технологические операции в процессе производства гранулированной серы, являются причиной образования серной мелочи и пыли, а трение частиц серы друг о друга приводит к накоплению статических электрических зарядов. Опасность статического электричества заключается в том, что сопровождающие его искровые разряды могут стать причиной пожара или взрыва. Удельное электрическое сопротивление серы составляет  $3,93 \cdot 10^{13}$  Ом · м, что позволяет относить её к диэлектрикам – веществам с низкой электропроводимостью и повышенной способностью накапливать электрические заряды [1–3]. Способность статического электричества провоцировать возгорание объясняется тем, что образующийся искровой разряд может обладать энергией, равной или большей минимальной энергии зажигания пылевоздушной смеси, состоящей из мелкодисперсной серы при условии

$$W_p \geq W_{\min},$$

где  $W_p$  – энергия разряда, Дж;  $W_{\min}$  – минимальная энергия зажигания, Дж (для серы  $W_{\min} = 15$  мДж).

Энергия искры рассчитывается по формуле

$$W_p = \frac{q\Delta\varphi}{2},$$

где  $q$  – электрический заряд, накопленный на диэлектрике;  $\Delta\varphi$  – разность потенциалов двух точек, возникающая при перемещении заряда, В [4, 5].

Пожароопасные свойства серы характеризуются показателями пожарной опасности (ГОСТ 12.1.044), основными из которых являются температура вспышки (207 °С) и температура самовоспламенения серы (232 °С). Сера дисперсностью менее 74 мкм в виде аэрогеля имеет температуру самовоспламенения 220 °С, в форме аэровзвеси – 190 °С. Нижний концентрационный предел распространения пламени составляет 35 г/м<sup>3</sup>, максимальное давление при взрыве – 500 кПа.

Ранее имели место многочисленные случаи возникновения пожаров при перевозке серы в полувагонах на ряде железных дорог России, в частности на Приволжской, Южно-Уральской, Куйбышевской, Московской. Например, в 2002 г. возгорание серы составило 0,2 % от её общей массы, транспортируемой железнодорожным транспортом. Возгорание серы опасно тем, что оно может вызвать отравление диоксидом серы персонала железных дорог, населения прилегающих территорий, вызвать возгорание других вагонов, в том числе и с опасными грузами.

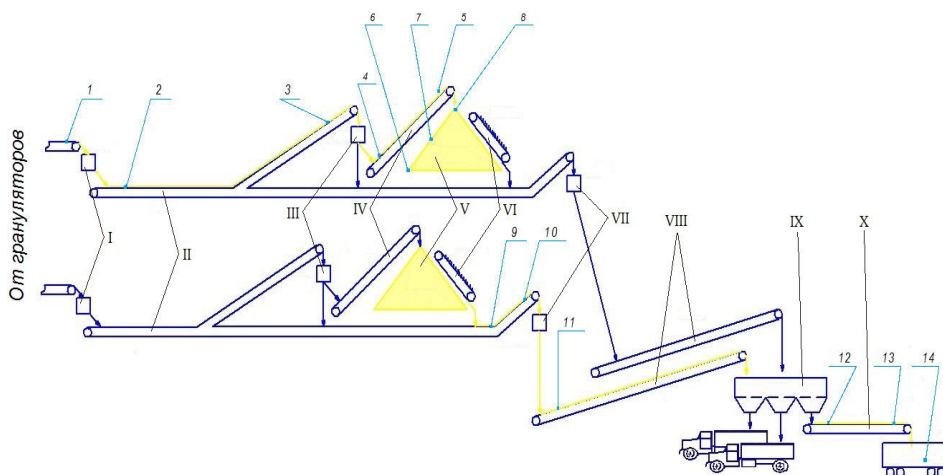
Диоксид серы (сернистый газ – SO<sub>2</sub>) – бесцветный ядовитый газ с характерным запахом, тяжелее воздуха. При воздействии на человека раздражает дыхательные пути, в больших концентрациях травмирует легкие. Летальная концентрация при экспозиции 10 минут составляет 8 г/м<sup>3</sup>. Каждая тонна сернистого газа, образующаяся при горении серы, способна создать летальную концентрацию в объеме 125 000 м<sup>3</sup> окружающего воздуха. Предельно допустимая концентрация диоксида серы составляет 0,001 г/м<sup>3</sup>.

Для тушения горячей серы привлекаются значительные людские и материальные ресурсы (пожарные поезда железных дорог, мобильные подразделения территориальных противопожарных служб).

Таким образом, в процессах, связанных с производством, хранением, отгрузкой и транспортировкой серы, разработка мероприятий по предотвращению пыления и возникновения статических зарядов, а также по устранению уже образовавшихся зарядов статического электричества являются чрезвычайно актуальной задачей.

### Определение и исследование зон возникновения интенсивной электризации

В ходе исследования нами выявлены основные проблемные зоны, на которых происходит образование статического электричества при погрузке гранулированной серы, полученной по методу сухой грануляции на Астраханском газоперерабатывающем заводе. На рисунке приведена упрощенная схема погрузки гранулированной серы.



Общая схема хранения и отгрузки готовой продукции установки грануляции серы У-250/1 «Enersul»:

- I, III, VII – перегрузочные башни; II – загрузочные конвейеры; IV – штабелекладочные агрегаты;
- V – участки складирования; VI – штабелеразгрузочные агрегаты; VIII – отгрузочные конвейеры;
- IX – разгрузочный бункер; X – конвейер подачи продукции в вагоны

Поток сформованной серы, выходящий из грануляторов, направляется на перегрузочные башни I, III. Из перегрузочной башни сера поступает на загрузочные конвейеры II, которые, в свою очередь, подают продукт к штабелеукладчикам IV. Через штабелеукладочные агрегаты сера направляется на участки складирования V, где хранится до тех пор, пока не начнется её отгрузка штабелеразгрузчиками VI. Со штабелеразгрузочных агрегатов продукт доставляют на отгрузочные конвейеры VIII, которые загружают серу в комбинированный разгрузочный бункер IX. Далее происходит процесс загрузки серы в железнодорожный и автомобильный транспорт.

Для оценки наэлектризованности гранулированной серы была измерена напряжённость электростатических полей, создаваемых вокруг заряженных частиц. Измерения проводились вдоль линии транспортировки серы на различных этапах погрузочно-разгрузочных работ. Средством измерения послужил измеритель напряженности электростатического поля СТ-01. Процедура измерения проводилась согласно руководству по эксплуатации прибора. Показания прибора, полученные на различных точках установки, а также относительная влажность воздуха и температура окружающей среды были зафиксированы и занесены в протокол (табл.).

**Результаты измерений напряженности на участке погрузки гранулированной серы**

Точка замера (номер позиции на рисунке)	Температура окружающего воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Напряжённость, кВ/м
1	5,5	50	1
2			1,2
6			0,6
2	3	38	0,8
3			0,6
4			1,2
5			0,2
6			0,6
7			80
8			120
9	5	35	0,6
10			0,6
11			5,5
12			1,1
13			0,6
14			20

По результатам исследований выделены следующие зоны возникновения интенсивной электризации гранулированной серы.

1. *На пересыпных башнях.* Возникновение здесь статического электричества объясняется тем, что поток сформованной серы интенсивно пересыпается в процессе его перегрузки на передаточный, штабелеукладочный и штабелеразгрузочный конвейеры. Результат данной операции – образование на поверхности гранул статических зарядов, проявляющихся в виде искровых разрядов.

2. *На участках складирования.* Штабелеукладочные и штабелеразгрузочные агрегаты, принимая с конвейера загрузки материала, направляют поток серы на участки складирования. Погрузка гранул на участки складирования осуществляется высыпанием продукта со штабелеукладчика на склады, в результате чего происходит перемешивание и трение частиц серы друг о друга. Следствием данного процесса является образование статического электричества на гранулах во время сползания серы с вершины образовавшейся насыпи к её подножию. При приближении серы к металлическим заземленным телам возникают небольшие искровые разряды, хорошо просматривающиеся в ночное время.

3. *На разгрузочном бункере.* Со штабелеукладочных конвейеров продукт подается в отгрузочный конвейер, который загружает его в комбинированный разгрузочный бункер. Предназначенная для отгрузки сера поступает в наивысшую точку бункера и сбрасывается вниз к лоткам для загрузки в автотранспорт и рукав – для загрузки в железнодорожные вагоны. Расстояние от места подачи серы в бункер до точки отгрузки составляет около 10 м. Гранулированная сера при нахождении в бункере подвергается интенсивному перемешиванию, трению и вибрациям. На указанном участке производства отмечались случаи возникновения небольших очагов возгорания серной пыли, являющиеся следствием искровых разрядов с поверхности частиц на металлоконструкции.

Результаты измерений позволили определить значения напряженности электростатических полей в обозначенных точках (1–14) (рис.) и рассчитать энергию искры.

### **Способы борьбы с электризацией гранулированной серы**

В настоящее время задача по предотвращению проявлений статического электричества на производстве решается несколькими способами:

- увлажнением серы технической водой на перегрузочных башнях. Данную процедуру осуществляют путём орошения водой серы, транспортируемой на конвейерных лентах;
- периодическими замывами перегрузочного бункера;
- подачей раствора пылеподавателя в зону погрузки бункера.

В качестве пылеподавателя используется реагент на основе метилового эфира дипропиленгликоля, этоксилированного спирта, алкиларилсульфоната калия и воды в массовом соотношении 1/1,5/3/8– 1/1,5/4/27, при этом содержание реагента в растворе пылеподавателя не превышает 1 % масс. Нанесение раствора на гранулы серы осуществляется распылением во вспененном виде непосредственно перед загрузкой продукции в транспорт.

Вышеупомянутые способы борьбы с пылеобразованием и электризацией серы имеют существенные недостатки, например увлажнение серы технической водой и раствором пылеподавателя невозможно осуществлять в зимний период вследствие замерзания водных растворов. Кроме того, использование системы пылеподавления в пределах загрузочного бункера непосредственно перед загрузкой гранулированной серы в транспорт не предотвращает электризацию гранул на остальной территории площадки отгрузки – в пределах конвейеров и пересыпных точек.

Для решения проблемы, связанной со смерзанием раствора пылеподавателя, целесообразно провести его замену на реагент, в состав которого могут входить аналоги используемых реагентов со свойствами, обеспечивающими устойчивость разработанной композиции к отрицательным значениям температуры [6–9].

Кроме подбора эффективного реагента для обработки гранулированной серы, нами предлагаются и другие варианты решения проблемы, например установка заземляющего приспособления, представляющего собой металлический отвод, закрепленный на металлоконструкциях транспортировочного оборудования. Такой заземлитель будет иметь постоянный контакт с потоком продукции, обеспечивая тем самым стекание накопленного заряда в землю. Сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 100 Ом, следовательно, отвод должен быть выполнен из материала с заданными пределами значений сопротивления. Достоинством такого способа борьбы со статическим электричеством является то, что его реализация не повлияет на физико-химические характеристики гранулированной серы.

Интерес представляет и использование нейтрализаторов, которые по принципу действия делятся на индукционные, высоковольтные, лучевые и аэродинамические. Нейтрализация зарядов статического электричества должна осуществляться путем ионизации воздуха и направленного движения ионов к поверхности гранулированной серы.

### **Заключение**

Исследования, проведенные нами на Астраханском газоперерабатывающем заводе, позволили нам выделить следующие зоны возникновения интенсивной электризации гранулированной серы, полученной по методу сухой грануляции: *на пересыпных башнях, на участках складирования, на разгрузочном бункере.*

Результаты измерений позволили определить значения напряженности электростатических полей в определенных точках и рассчитать энергию искры.

Отмечается, что наиболее эффективным способом решения задачи по предотвращению проявлений статического электричества на производстве будет комплексный подход, включающий в себя разработку эффективной композиции пылеподавателя круглогодичного применения, использование заземлителей, учитывающих конструкционные особенности оборудования, и нейтрализаторов. Такой подход позволит повысить безопасность процессов производства, хранения и отгрузки гранулированной серы на протяжении всего года, включая зимний период, когда использование воды и водных растворов для предотвращения пыления не представляется возможным.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Максимов Б. К.* Статическое электричество в промышленности и защита от него / Б. К. Максимов, А. А. Обух. М.: Энергия, 1978. 80 с.
2. *Захарченко В. В.* Правила защиты от статического электричества в производствах химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности / В. В. Захарченко, В. С. Журавлев, Ю. Д. Очков. М.: Химия, 1972. 105 с.
3. *Литвинова Г. Ж.* Свойства вредных и опасных веществ, обращающихся в нефтегазовом комплексе / Г. Ж. Литвинова, С. Б. Ошеров. Воронеж: ДОО «Газпроектинжиниринг», 2005. 358 с.
4. *Калыгин В. Г.* Промышленная экология / В. Г. Калыгин. М.: Академия, 2004. 432 с.
5. *Трофимова Т. И.* Курс физики / Т. И. Трофимова. М.: Академия, 2004. 560 с.
6. *Вынту В.* Технология нефтехимических производств / В. Вынту. М.: Химия, 1968. 352 с.
7. *Абрамзон А. А.* Поверхностно-активные вещества: Справочник / А. А. Абрамзон, Г. М. Гаевой. Л.: Химия, 1979. 375 с.
8. URL: <http://www.xumuk.ru>.
9. *Степанова Т. Ю.* Увеличение поверхностной проводимости конструкционных материалов / Т. Ю. Степанова // Вестн. Иванов. гос. энергет. ун-та. 2010. Вып. 2. С. 57–59.

Статья поступила в редакцию 22.04.2015

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Нигметов Рустам Иманбаевич** – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; студент, специальность «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»; [nigmatov.rus@inbox.ru](mailto:nigmatov.rus@inbox.ru).

**Паршин Николай Николаевич** – Россия, 414056, Астрахань; ООО «Газпром добыча Астрахань», инженерно-технический центр, служба диагностики оборудования и сооружений; ведущий инженер-технолог; [isuhorev@astrakhan-dobycha.gazprom.ru](mailto:isuhorev@astrakhan-dobycha.gazprom.ru).

**Попадин Николай Владимирович** – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; канд. техн. наук; доцент кафедры «Химическая технология переработки нефти и газа»; [NPopadin@astrakhan-dobycha.gazprom.ru](mailto:NPopadin@astrakhan-dobycha.gazprom.ru).

**Нурахмедова Александра Фаритовна** – Россия, 414056, Астрахань; ООО «Газпром добыча Астрахань», инженерно-технический центр; канд. техн. наук; начальник отдела мониторинга технологических процессов переработки сырья; [ANurakhmedova@astrakhan-dobycha.gazprom.ru](mailto:ANurakhmedova@astrakhan-dobycha.gazprom.ru).

**Сухорев Игорь Геннадьевич** – Россия, 414056, Астрахань; ООО «Газпром добыча Астрахань», Астраханский газоперерабатывающий завод, производство № 6; начальник производства; [isuhorev@astrakhan-dobycha.gazprom.ru](mailto:isuhorev@astrakhan-dobycha.gazprom.ru).



*R. I. Nigmatov, N. N. Parshin,  
N. V. Popadin, A. F. Nurakhmedova, I. G. Suhorev*

### ON PREVENTION OF ACCUMULATION OF STATIC ELECTRICITY ON THE GRANULATED SULFUR

**Abstract.** In production and shipment of the granulated sulfur capable to accumulate static electricity and inclined to inflammation with release of sulfur dioxide, the use of the methods to reduce the intensity of electrization of sulfur particles is extremely an actual task. Concussion of sulfur granules among themselves and vibration, accompanying the technological operations in the course of production of the granulated sulfur, are the reasons of formation of the sulfuric trifle and dust, and friction of the sulfur particles among themselves leads to accumulation of the static electrical charge, capable to become a source of inflammation of the dust suspension. Now the problem of preventing of manifestations of static electricity at production is solved by the methods based on processing of the granulated sulfur by water and solution of dust-suppression. As a dust-

suppression, a reagent based on the dipropylene glycol methyl ether, ethoxylated alcohol, alkylaryl sulfonat of potassium and water in a mass ratio 1/1.5/3/8 – 1/1.5/4/27 is used, thus, the content of reagent in solution of dust-suppression does not exceed 1 % of mass. Such methods of fight against dust formation and electrization of sulfur have essential shortcomings, for example, sulfur moistening by technical water and solution of dust-suppression cannot be realized during a winter period because of freezing of water solutions. To solve the problem of freezing of dust-suppression solution, it is advisable to carry out its replacement by a reagent, which may include analogues of the reagents with properties that ensure the stability of the composition designed to sub-zero temperatures. In addition to the selection of an effective agent for processing of granulated sulfur, we also offer other solutions to the problem: the use of the grounding device, removing the charge from the moving stream of sulfur granules, as well as the use of neutralizations.

**Key words:** static electricity, granulated sulfur, inflammation of sulfur, decrease in electrization, processing by dust-suppression, composition of dust-suppression, non-freezing solution.

#### REFERENCES

1. Maksimov B. K., Obukh A. A. *Stichesкое elektrichestvo v promyshlennosti i zashchita ot nego* [Static electricity in industry and its prevention]. Moscow, Energiia Publ., 1978. 80 p.
2. Zakharchenko V. V., Zhuravlev V. S., Ochkov Iu. D. *Pravila zashchity ot sticheskogo elektrichestva v proizvodstvakh khimicheskoi, neftekhimicheskoi i neftepererabatyvaiushchei promyshlennosti* [Rules of protection from static electricity in the chemical, oil chemical and oil processing industries]. Moscow, Khimiia Publ., 1972. 105 p.
3. Litvinova G. Zh., Osheroov S. B. *Svoistva vrednykh i opasnykh veshchestv, obrashchvaiushchikhsia v neftegazovom komplekse* [Properties of harmful and dangerous substances, volatile in oil and gas complex]. Voronezh, DOAO «Gazproektinzhiniring», 2005. 358 p.
4. Kalygin V. G. *Promyshlennaia ekologiia* [Industrial ecology]. Moscow, Akademiia Publ., 2004. 432 p.
5. Trofimova T. I. *Kurs fiziki* [Course of physics]. Moscow, Akademiia Publ., 2004. 560 p.
6. Vyntu V. *Tekhnologiia neftekhimicheskikh proizvodstv* [Technology of oil and chemical production]. Moscow, Khimiia Publ., 1968. 352 p.
7. Abramzon A. A., Gaevoi G. M. *Poverkhnostno-aktivnye veshchestva: Spravochnik* [Surfactants: Reference]. Leningrad, Khimiia Publ., 1979. 375 p.
8. Available at: <http://www.xumuk.ru>.
9. Stepanova T. Iu. Uvelichenie poverkhnostnoi provodimosti konstruktsionnykh materialov [Increase in surface conductivity of the construction materials]. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*, 2010, iss. 2, pp. 57–59.

The article submitted to the editors 22.04.2015

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Nigmatov Rustam Imanbaevich** – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Student, Speciality "Machines and Equipment of Oil and Gas Fields"; nigmatov.rus@inbox.ru.

**Parshin Nikolay Nikolaevich** – Russia, 414056, Astrakhan; LLC "Gazprom dobycha Astrakhan", Engineering and Technical Centre, Diagnostic Service of Equipment and Constructions; Leading Technology-engineer; isuhorev@astrakhan-dobycha.gazprom.ru.

**Popadin Nikolay Vladimirovich** – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department "Chemical Technology of Oil and Gas Processing"; NPopadin@astrakhan-dobycha.gazprom.ru.

**Nurakhmedova Alexandra Faritovna** – Russia, 414056, Astrakhan; LLC "Gazprom dobycha Astrakhan", Engineering and Technical Centre; Candidate of Technical Sciences; Head of the Department of Monitoring Technological Processing of Raw Materials; ANurakhmedova@astrakhan-dobycha.gazprom.ru.

**Sukhorev Igor Gennadevich** – Russia, 414056, Astrakhan; LLC "Gazprom dobycha Astrakhan", Astrakhan Gas Processing Plant, Production unit N 6; Head of Production Unit; isuhorev@astrakhan-dobycha.gazprom.ru.

