

---

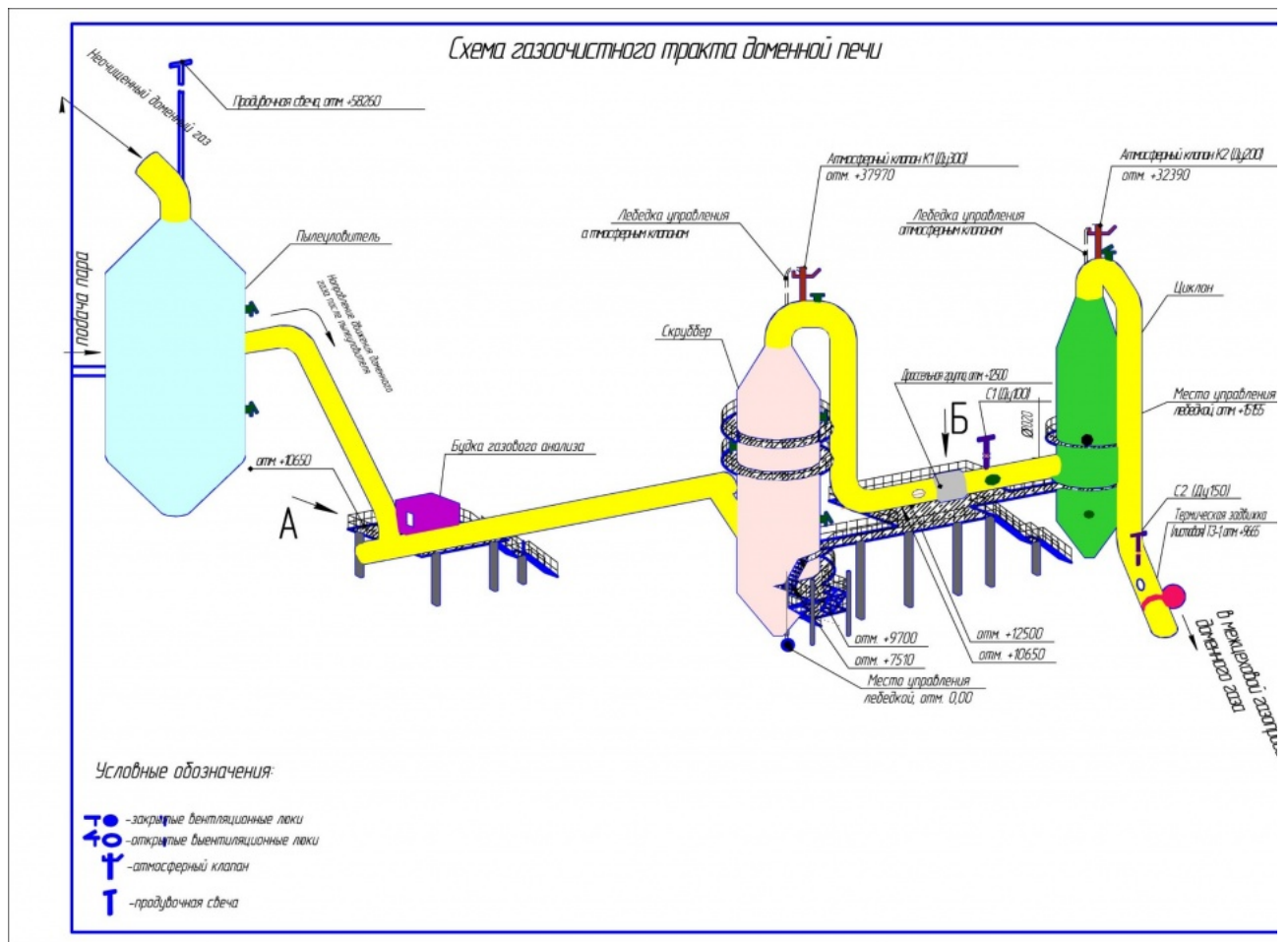
# Оценка возможности образования взрывоопасных газовых смесей на газоочистном оборудовании металлургических производств

Е.М.Крамченков, В.А.Стерлигов, С.В.Симиниченко, Ю.Л.Стуканев

Оценка возможности образования взрывоопасных газовых смесей на газоочистном оборудовании металлургических производств

Одной из особенностей металлургического производства является получение вторичных топливных энергетических ресурсов. К этим ресурсам относятся, в первую очередь, доменный, коксовый, конвертерный газы, а также некоторые другие [1,2]. Вышеуказанные газы перед их использованием либо в металлургических технологиях, либо в качестве топлива проходят системы газоочистки, являющиеся опасными производственными объектами, в которых из газов удаляются пыль и некоторые другие соединения. Существует достаточно большое количество установок для очистки газов, но самыми распространенными являются установки, работающие по принципу орошения газов водой, что приводит к частичному удалению из них пыли, снижению температуры газов и их увлажнению. Такие установки, в частности применяются при очистке доменного газа перед подачей этого вида топлива в газовую сеть металлургического предприятия. Принципиальная схема газоочистки доменного газа приведена на рисунке. В данной статье рассматривается возможность образования взрывоопасной смеси доменный газ-воздух при переходных режимах работы газоочистного оборудования.

Доменный газ – побочный продукт доменного производства, образующийся в ходе ведения доменной плавки. В зависимости от состава шихты, подаваемой в доменную печь, состав доменного газа может различаться. Усредненный состав доменного газа: CO – 25,2 %; CO<sub>2</sub> – 6,7 %; H<sub>2</sub> – 10,1 %; N<sub>2</sub> – 58,0 %. При применении дутья, обогащенного кислородом состав может меняться в сторону увеличения доли H<sub>2</sub> (она может достигать 10...12%) и CH<sub>4</sub> (до 1%). Доменный газ характеризуется низкой реакционной способностью вследствие наличия балластных составляющих N<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub>; низшая теплота сгорания доменного газа изменяется в пределах 3,6...4,6 МДж/м<sup>3</sup>. Газ воспламеняется в смеси с воздухом в пределах концентраций 40...70%. Минимальная температура воспламенения составляет 680°С. Жаропроизводительность (адиабатная температура горения) 1500°С.



Основной горючий компонент доменного газа – CO и наличие балластных составляющих обеспечивают такое свойство доменного газа, как низкая скорость распространения пламени, причем в неподвижных газовых средах горение газа осуществляется в ламинарном диффузионном режиме [4].

Упомянутые выше переходные режимы работы газоочистного оборудования в большинстве случаев связаны с изменением режима работы доменной печи и наибольшую опасность с точки зрения образования взрывоопасных концентраций является остановка печи, что, в свою очередь, приводит и к остановке газоочистного оборудования.

В случае остановки обслуживающий персонал в соответствии с планами организации и проведения газоопасных работ осуществляет мероприятия по вентиляции газоходов и аппаратов, а именно: открытие атмосферных клапанов на скруббере и циклоне, продувочных свечей на газопроводах чистого доменного газа, атмосферных клапанов и продувочной свечи на пылеуловителе и вентиляционных люков на газопроводах чистого и получистого доменных газов. Эти мероприятия позволяют в течение определенного времени (6-8 часов) осуществить газообмен в трубопроводах с замещением доменного газа атмосферным воздухом. Процесс газообмена может длиться несколько часов и определяется температурой доменного газа, температурой окружающей среды, объемом газопроводов и аппаратов, площадью сечений арматуры, предназначенной для вентиляции, а также рядом других факторов. Наличие окиси углерода во внутреннем пространстве газоочистки и возможность проведения работ на аппаратах и газопроводах определяется по результатам анализа двух последовательно взятых проб газа. Пробы берутся из скруббера и циклона. Второй особенностью проведения работ является тот факт, что в ходе процесса газообмена во внутренних объемах газопроводов и аппаратов возможно образование взрывоопасных концентраций газоздушной смеси. В связи с этим Правила [5] предусматривают специальные меры безопасности, связанные с недопущением искрообразования при проведении газоопасных работ.

Рассмотрим методику, с помощью которой можно оценить вероятность образования взрывоопасной смеси в объеме аппаратов и трубопроводов системы газоочистки.

Принимаем следующий усредненный состав доменного газа:

CO – 25,2 %; CO<sub>2</sub> – 6,7 %; H<sub>2</sub> – 10,1 %; CH<sub>4</sub> – 0 %; N<sub>2</sub> – 58,0 %

Молярные массы газов:

CO – 28 кг/кмоль; CO<sub>2</sub> – 44 кг/кмоль; H<sub>2</sub> – 2 кг/кмоль; CH<sub>4</sub> – 16 кг/кмоль; N<sub>2</sub> – 28 кг/кмоль.

Молярная масса смеси (доменного газа)

$$\mu_{\text{дг}} = \sum_{i=1}^n \mu_i \times r_i / 100 = (28 \times 25,2 + 44 \times 6,7 + 2 \times 10,1 + 28 \times 58) / 100 = 26,45 \text{ кг/кмоль};$$

Плотность доменного газа

$$\rho_{\text{дг}} = \frac{\mu_{\text{дг}}}{22,4} = \frac{26,45}{22,4} = 1,18 \text{ кг/м}^3$$

Теплота сгорания газа определяется по формуле Менделеева

$$Q_{\text{н}}^p = 25,8 \times H_2 + 30,2 \times CO = 25,8 \times 10,1 + 30,2 \times 25,2 = 1021,62 \text{ ккал/м}^3$$

Данные по концентрационным пределам взрываемости компонентов чистого газа:

H<sub>2</sub> – нижний предел 4 %; верхний предел – 75 %.

CO - нижний предел 12,5 %; верхний предел – 75 %.

Для определения пределов взрываемости смесей газов без учета балластной составляющей руководствуются принципом Ле-Шателье [4]:

$$L = \frac{100}{\frac{c_1}{n_1} + \frac{c_2}{n_2}}$$

где с – содержание горючего компонента, n – нижний (верхний) предел взрываемости. В соответствии с этим принципом нижний теоретический предел взрываемости смеси CO и H<sub>2</sub> составит:

$$L_{\text{н}} = \frac{100}{\frac{25,2}{12,5} + \frac{10,1}{4}} = 7,77 \text{ %};$$

и верхний теоретический предел взрываемости

$$L_{\text{в}} = \frac{100}{\frac{25,2}{75} + \frac{10,1}{75}} = 75,0 \text{ %};$$

Учет влияния балластных примесей на значения пределов взрываемости смесей газов произведем по методике [4]. Если принять долю балластной составляющей за величину К, то в нашем случае она составит 0,647. Вычисляем вспомогательный коэффициент

$$\varepsilon = 1 + \frac{k}{1-k} = 1 + \frac{0,647}{1-0,647} = 2,83$$

---

Действительные пределы вычисляем по формуле:

$$L_{\bar{a}} = L_{\delta} \times \frac{100 \times \varepsilon}{100 + L_{\delta} \times \frac{k}{1-k}}$$

тогда

$$L_{\text{огн}} = 7,77 \times \frac{100 \times 2,83}{100 + 7,77 \times \frac{0,647}{1-0,647}} = 19,28 \ %;$$

$$L_{\text{огс}} = 75,0 \times \frac{100 \times 2,83}{100 + 75,0 \times \frac{0,647}{1-0,647}} = 89,47 \ %;$$

Очевидно, что наличие балластных компонентов в доменном газе существенным образом изменяет значения пределов взрываемости газа.

Описанная выше методика вентиляции газоходов и аппаратов может привести к ситуации, когда в отдельных элементах газоочистного тракта существует вероятность образования смеси монооксида углерода с воздухом с концентрацией попадающей в «вилку» между значениями нижнего и верхнего пределов взрываемости. При этом стечение нескольких обстоятельств может привести к взрыву смеси, а именно:

- проведение газоопасных работ с нарушением правил безопасности вследствие чего возможно попадание пламени (искры) во внутреннее пространство газопровода;
- возникновение за счет энергии пламени (искры) ламинарного диффузионного режима горения доменного газа;
- распространение фронта пламени с небольшой скоростью, которое в конечном итоге может достичь локального объема, характеризующегося наличием взрывоопасной концентрации доменного газа и воздуха;
- значительное ускорение скорости реакции окисления доменного газа при определенной концентрации последнего, приводящее к скачкообразному повышению давления (взрыву).

Таким образом, можно заключить следующее: с целью обеспечения безопасности и недопущения образования взрывоопасных смесей в газовом тракте доменного газа при переходных режимах работы необходимо разработать решение по оснащению аппаратов и газопроводов тракта доменного газа от колошника доменной печи до коллектора чистого доменного газа системой продувки. В составе системы продувки следует предусмотреть подсистему подачи инертного газа (азота) в аппараты и газопроводы, разместив арматуру подачи таким образом, чтобы обеспечить отсутствие застойных зон, где мог бы остаться доменный газ. Одновременно с этим следует спроектировать подсистему эвакуации газовой смеси - продувочные газопроводы (свечи), которые могли бы обеспечить рассеивание выходящего из них газа (азото-доменной смеси) в атмосфере.

Для определения момента полного замещения доменного газа азотом следует предусмотреть возможность взятия газового анализа в необходимых точках газового тракта.

---

## Литература

1. Взрывы газов в доменном производстве / В.П. Русских, А.А. Томаш, В.П. Тарасов, Е.И. Хрущёв. Мариуполь, ПГТУ - 2006. - 99 с..
2. Бабайцев И.В. Взрывопожаробезопасность металлургического производства // Научные школы МИСиС. М.: МИСИС. - 1997. - с. 295.
3. Акинин Н.И. Анализ причин аварий и травматизма на опасных производственных объектах // Металлург. 2004 - №10. - с. 22-24.
4. Иост В. Взрывы и горение в газах. М., Изд-во иностранной литературы, 1952, 687 с..
5. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при получении, транспортировании, использовании расплавов черных и цветных металлов и сплавов на основе этих расплавов»