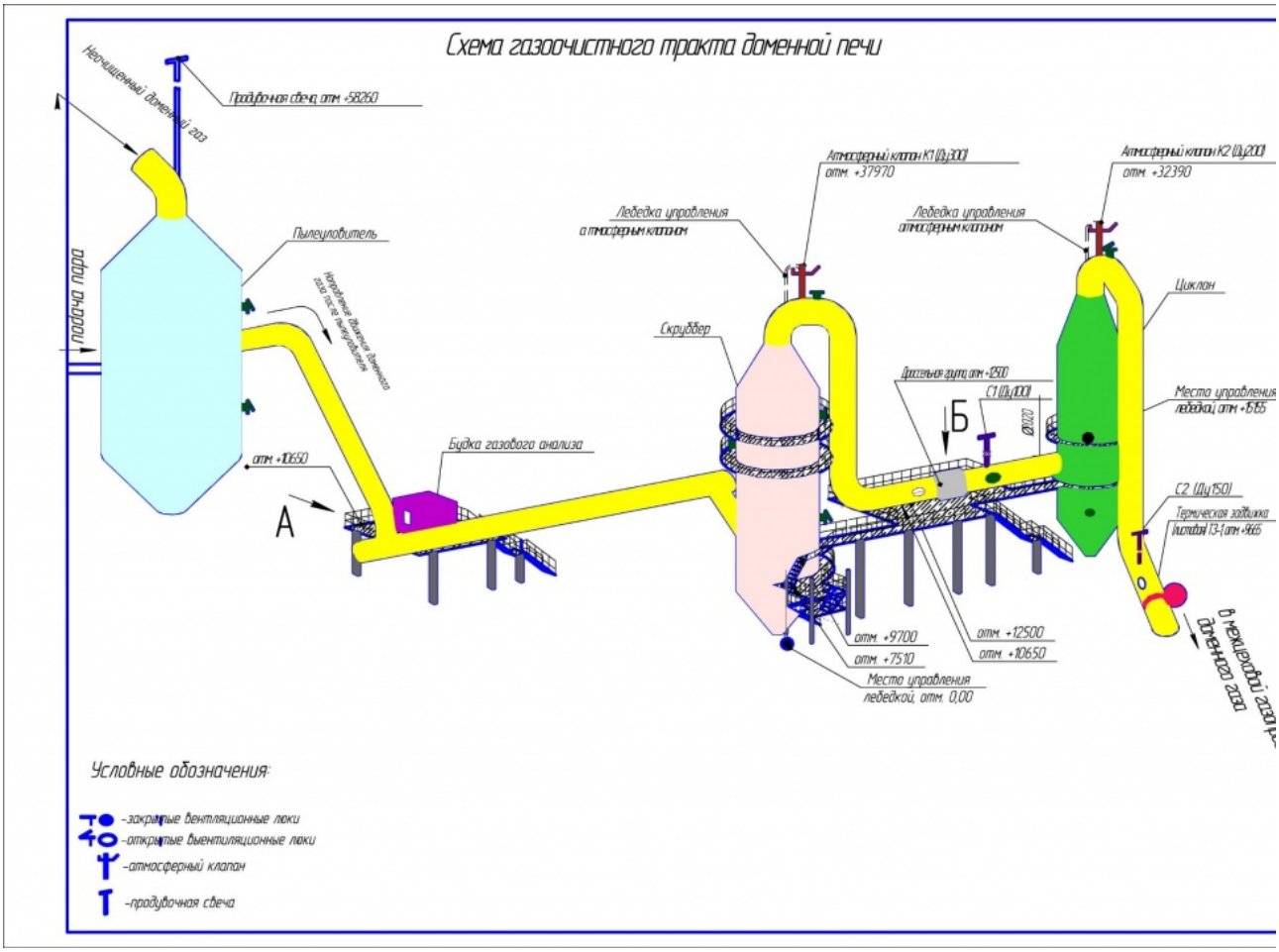
Оценка возможности образования взрывоопасных газовых смесей на газоочисном оборудовании металлургических производств

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

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_2 – 6,7 %; H_2 – 10,1 %; N_2 – 58,0 %. При применении дутья, обогащенного кислородом состав может меняться в сторону увеличения доли H_2 (она может достигать 10…12%) и CH_4 (до 1%). Доменный газ характеризуется низкой реакционной способностью вследствие наличия балластных составляющих N_2 и CO_2; низшая теплота сгорания доменного газа изменяется в пределах 3,6…4,6 МДж/м^3. 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 газовоздушной 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_2 – 6,7 %; H_2 – 10,1 %; CH_4 – 0 %; N_2 – 58,0 %

Молярные массы газов:

CO – 28 кг/кмоль; CO_2 – 44 кг/кмоль; H_2 – 2 кг/кмоль; CH_4 – 16 кг/кмоль; N_2 – 28 кг/кмоль.

Молярная масса смеси (доменного газа)

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

Плотность доменного газа

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

Теплота сгорания газа определяется по формуле Менделеева

$$Q_н^р = 25,8 \times H_2 + 30,2 \times CO = 25,8 \times 10,1 + 30,2 \times 25,2 = 1021,62 \ ккал / м^3$$

Данные по концентрационным пределам взрываемости компонентов чистого газа:

H_2 – 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_2 составит:

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

и верхний теоретический предел взрываемости

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

Учет влияния балластных примесей на значения пределов взрываемости смесей газов

произведем по методике [4]. Если принять долю балластной составляющей за величину K, 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:

$$L_{д} = L_{т} \times \frac{100 \times \varepsilon}{100 + L_{т} \times \frac{k}{1-k}}$$

тогда

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

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

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 запроектировать 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»