С.А. Гармашова *(ТОО «Алтайтехэнерго»)*, **В.В. Запасный** (*Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева)*, **С.В. Галкин** *(Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева)*

АНАЛИЗ ВЗРЫВА УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ НА ТОО «АЭС СОГРИНСКАЯ ТЭЦ»

Применение казахстанских углей с большим выходом летучих обусловливает очень жесткие требования к поддержанию санитарных требований по запыленности и загазованности помещений. Высокое содержание угольной пыли и газов приводит к пожаро- и взрывоопасной ситуации. Так в Восточно-Казахстанской области на системах углеподачи различных предприятий периодически происходят взрывы или пожары (на ТЭЦ, на котельных на цементном заводе). Наиболее мощный взрыв произошел на Согринской ТЭЦ в г.Усть-Каменогорске в 2005 году.

Механизм взрыва пыли является характерным примером химического взрыва, когда окислителем выступает кислород воздуха. При этом процесс окисления протекает на поверхности твердых частиц пыли. Интенсивность горения пылевоздушной смеси (ПЛВС) зависит от размера частиц и содержания кислорода в веществе. Если концентрация пыли в определенном объеме недостаточна (то есть расстояние между отдельными частицами, находящимися во взвешенном состоянии, велико), то перенос пламени от частицы к частице невозможен и, значит, взрыв не произойдет. Чрезмерно большое количество пыли также препятствует формированию взрывов, так как в этом случае слишком мало кислорода для сгорания пыли.

На основании визуального осмотра повреждений конструктивных элементов производственного здания Согринской ТЭЦ было установлено, что внутренние и наружные ограждающие конструкции подверглись разрушительному воздействию ударной волны взрыва, эпицентр которого находился в бункерном отделении на отметке 23 м.

В бункерном отделении размещены транспортеры для подачи угля в бункерам сырого угля. Падение угля на ленту транспортера, вибрация ленты транспортера, ссыпание угля в бункер сопровождаются интенсивным выделением угольной пыли. Благоприятными факторами скопления угольной пыли в бункерном отделении являются также:

- разрежение в помещении, создаваемое дутьевыми вентиляторами (угольная пыль, образующаяся в транспортерной наклонной галерее засасывается в помещение);
- низкая температура наружного воздуха, обуславливающая низкую относительную влажность воздуха внутри помещения при нагревании от минус 18 °С до плюс 5 °С.

В результате выделения угольной пыли образуется взрывоопасная горючая смесь, в которой горючим веществом является угольная пыль, а окислителем – кислород воздуха [1, 2]. При достижении содержания угольной пыли в воздухе взрывоопасной концентрации может произойти взрыв. Для этого необходим первоначальный энергетический толчок, который способствует началу окислительного процесса угольной пыли. Таким толчком могла послужить искра (электродинамического, электростатического или ударного происхождения) либо нагретое тело. Реакция окисления угольной пыли сопровождается выделением тепла, которого достаточно для воспламенения ближайших слоев при взрывоопасной концентрации. Для пылевоздушной смеси характерен процесс, при котором химическое превращение распространяется по взрывчатому веществу последовательно от слоя к слою в виде волны. Движущийся с большой скоростью передний фронт такой волны представляет собой ударную волну - резкий (скачкообразный) переход вещества из исходного состояния в состояние с очень высокими давлением и температурой. Взрывчатое вещество, сжатое ударной волной, оказывается в состоянии, при котором химическое разложение протекает очень быстро. В результате область, в которой освобождается энергия, оказывается сосредоточенной в тонком слое, прилегающем к поверхности ударной волны. Выделение энергии обеспечивает сохранение высокого давления в ударной волне на постоянном уровне. При наличии в помещении большого количества осевшей угольной пыли, как правило, сначала взрывается относительно небольшой объем вещества с взрывоопасной концентрацией. Это способствует возмущению осевшей пыли и приводит к последующему более

мощному взрыву [1]. Необходимо отметить, что влажная уборка в бункерном отделении производится 1 раз в 3 дня. Взрыв произошел накануне перед уборкой в конце процесса очередной подачи угля в бункера, то есть в период максимального накопления угольной пыли в помещении.

Теоретически необходимое количество воздуха для горения 1кг угольной пыли при нормальных условиях V^o, $м^3$(н.у.)/кг, определяется в соответствии с источником [3] по формуле

$$V^o = 0{,}0889*(C^p+0{,}375*S_л^p) + 0{,}265*H^p - 0{,}0333*O^p , \quad (1)$$

где C^p, $S_л^p$, H^p, O^p – соответственно процентное содержание углерода, серы, водорода и кислорода в угольной пыли по массе, % (данные принимаются по результатам лабораторных анализов).

$$V^o = 0{,}0889*(85{,}2+ 0{,}375*1{,}2) + 0{,}265*5{,}1- 0{,}0333*7{,}1=8{,}73 \ м^3(н.у.)/кг$$

Теоретически необходимое количество воздуха для горения 1кг угольной пыли при рабочих условиях $V^o_{р.у}$, $м^3/кг$, можно определить из уравнения объединенного газового закона состояния идеальных газов соответствии с источником [4] по формуле

$$V^o_{р.у}= V^o*P'*T_{р.у}/(T'*P_{р.у}) \quad (2)$$

где T’ – температура воздуха при нормальных условиях, К; $T_{р.у}=273$ К;

P’ – давление воздуха при нормальных условиях, кПа;

$P_{р.у}=101$ кПа;

$T_{р.у}$ – температура воздуха при рабочих условиях, К; $T_{р.у}=278$ К;

$P_{р.у}$ – давление воздуха при рабочих условиях, кПа;

$P_{р.у}=98{,}9$ кПа [5].

Теоретически необходимое количество воздуха для горения 1кг угольной пыли при рабочих условиях определяем по формуле (2). При этом погрешность расчетов, возникающая вследствие несоответствия термодинамического состояния воздуха состоянию идеального газа, при относительно небольшом давлении не превысит 1 % [4].

$$V^o_{р.у}=8{,}73*101*278/(273*98{,}9)=9{,}08 \ м^3/кг$$

Объем продуктов полного сгорания 1 кг угольной пыли V^o, $м^3$(н.у.)/кг, определяется в соответствии с источником [3] по формуле

$$V^o_г = V^o_{с.г}+V_{H2O}, \quad (3)$$

где $V^o_{с.г}$ и V_{H2O} – соответственно объем сухих газов и объем водяных паров, образовавшихся при полном сгорании 1 кг угольной пыли, м^3(н.у.)/кг.

Объем сухих газов $V^o_{с.г}$ и объем водяных паров V_{H2O}, образовавшиеся при полном сгорании 1 кг угольной пыли, м^3(н.у.)/кг, определяют по формулам

$$V^o_{с.г}=0,0187*(C^p +0,375* S_л^p)+0,79* V^o+0,008*N^p, \quad (4)$$

$$V_{H2O}= 0,111* H^p+0,0124*W^p+0,0161*V^o, \quad (5)$$

где N^p – процентное содержание азота в угольной пыли по массе, %;

W^p – влажность угольной пыли, %.

$$V^o_{с.г}=0,0187*(85,2 +0,375* 1,2)+0,79*8,73+0,008*1,4=8,51 \text{ м}^3\text{(н.у.)/кг}$$

$$V_{H2O}= 0,111*5,1+0,0124*16,2+0,0161*8,73=0,91 \text{ м}^3\text{(н.у.)/кг}$$

$$V^o_{с.г}=8,51+0,91=9,42 \text{ м}^3\text{(н.у.)/кг}$$

Количество угольной пыли, которая могла сгореть в 1 м^3 воздуха, C_{max}, кг/м^3, можно определить по формуле

$$C_{max}=1/V^o_{р.у}, \quad (6)$$

$$C_{max}=1/9,08=0,110 \text{ кг/м}^3$$

Минимальная взрывоопасная концентрация угольной пыли (нижний концентрационный предел взрываемости) C_{min}, г/м^3, в соответствии с источником [6], может быть определена по формуле

$$C_{min}=8*10^5/q .$$

$$C_{min}=8*10^5/22191=36 \text{ г/м}^3$$

Минимальная взрывоопасная концентрация угольной пыли (нижний концентрационный предел взрываемости), установленная по источнику [7], составляет 50 г/м^3.

Следовательно, нижний концентрационный предел взрываемости угольной пыли находится в пределах 36…50 г/м^3.

Температуру продуктов сгорания угольной пыли можно определить по формуле

$$T_г= T_{р.у} +q*C_{max}/(c*\rho), \quad (7)$$

где q – теплота, выделяющаяся при сгорании 1 кг угольной пыли, кДж/кг; q=22191 кДж/кг (данные принимаются по результатам лабораторных анализов);

c – удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг*К); c=1,1 кДж/(кг*К) [4];

ρ – плотность воздуха, кг/м^3; ρ=1,2 кг/м^3 [4].

$$T_г =278+22191*0,110/(1,1*1,2)=2130 \text{ К}$$

Максимальное давление при сгорании угольной пыли в замкнутом пространстве P_{max}, кПа, определяем в соответствии с источником [4] по уравнению изохорического процесса с учетом увеличения массы газообразных компонентов

$$P_{max}=P'* (T_г/T')*(V^o_г /V^o) \quad (8)$$

где $V^o_{с.г}/V^o$ – коэффициент увеличения массы газообразных компонентов при сгорании угольное пыли.

$$P_{max}=101* (2130/273)*(9,42 /8,73)= 850 \text{ кПа}$$

Возможная максимальная масса взорвавшейся угольной пыли в бункерном отделении, М, кг, определяется по формуле

$$M=V_б* C_{max} \ , \quad (9)$$

где $V_б$ – свободный объем бункерного отделения, м^3; $V_б$=3024 м^3 (определен по чертежам здания).

$$M=3024*0,11=333 \text{ кг}$$

Объем, который должны занять продукты сгорания угольной пыли для ликвидации избыточного давления, V', м^3, можно определить по формуле

$$V'=V_б*(P_{max}/P_{р.у})+V_о-V_б, \quad (10)$$

где $V_о$ – свободный объем здания, м^3; $V_о$=99105 м^3 (определен по чертежам здания).

$$V'=3024*(850/98,9)+99105-3024=122072 \text{ м}^3$$

Среднее давление внутри здания при равномерном распределении продуктов сгорания $P_{ср}$, кПа, определяют по формуле

$$P_{ср}= P_{р.у}*(V'/ V_о). \quad (11)$$

$$P_{ср}= 98,9*(122072/99105)=121,8 \text{ кПа}$$

Избыточное давление на наружные ограждающие конструкции при равномерном распределении продуктов сгорания $P_{изб}$, кПа равно:

$$P_{изб}= P_{ср}- P_{р.у} \ . \quad (12)$$

$$Р_{изб}=121,8 - 98,9=22,9 \text{ кПа}$$

В соответствии с источником [8] избыточное давление фронта ударной волны 22,9 кПа соответствует зоне средних разрушений.

Таким образом, на основании выполненных расчетов установлено:

- минимальная взрывоопасная концентрация угольной пыли составляет 36…50г/м^3;
- максимальная концентрация угольной пыли, полностью вступающей в реакцию с кислородом воздуха – 110 г/м^3;
- максимальная масса угольной пыли, которая могла взорваться в бункерном отделении – 333 кг;
- среднее избыточное давление на наружные ограждающие конструкции при взрыве 333 кг угольной пыли в бункерном отделении 22,9 кПа, что характерно для зон среднего разрушения.

Сопоставляя результаты расчетов и характер имеющихся разрушений производственного здания ТЭЦ можно сделать вывод, что причиной разрушений ограждающих конструкций здания являлся взрыв угольной пыли в бункерном отделении на отметке 23 метра, для скопления которой создались благоприятные условия. Данный взрыв классифицируется как химический объемный взрыв аэровзвеси, для которого характерно наличие первоначального взрыва, относительно небольшой мощности, спровоцировавшего возмущение осевшей пыли с последующим развитием более мощного взрывного процесса.

К образованию первоначального энергетического толчка, который способствовал взрыву взвеси угольной пыли, могли послужить следующие причины:

а) статическая искра - образуется при разряде энергетического потенциала, обусловленного

накоплением электрических зарядов на трущихся поверхностях (транспортерная лента и другие подвижные элементы технологического оборудования).

б) электрическая искра – образуется при разряде энергетического потенциала, обусловленного действием ЭДС в электрических сетях и электроприборах (размыкание электрических контактов, недостаточная изоляция проводников тока и т.п.)

в) искра, образующаяся при ударе (падение тяжелого предмета)

г) нагретое тело - источник повышенной температуры (разогревшиеся элементы технологического оборудования)

д) самовозгорание угольной пыли – образование очагов горения (тления) в слежавшейся пыли.

е) открытое пламя – открытый источник огня (несоблюдение правил пожарной безопасности обслуживающим персоналом).

В целях предупреждения взрыва угольной пыли в системах топливоподачи котельных и ТЭЦ должны быть предусмотрены следующие мероприятия:

- организована принудительная система вентиляции помещений, в которых происходит выделение угольной пыли;
- установлен график текущей и генеральной уборки пыли в помещениях с периодичностью, обеспечивающей предотвращение скопления угольной пыли;
- использовать в системах топливоподачи и помещениях, в которых происходит пыление угля только искрозащищенное электрооборудование и инструменты, не дающие искры при ударе;
- не производить работ, связанных с использованием открытого огня или нагретых предметов (сварка, пайка и т.д.) при наличии скоплений угольной пыли;
- при работе использовать спецодежду, не накапливающую электростатический заряд (из хлопка и подобных материалов);

- предусмотреть возможность повышения относительной влажности в помещениях с интенсивным пылевыделением;
- осмотр, очистка, ремонт пылеприготовительного оборудования допускаются только по наряду и при соблюдении требований РД 34 РК 03.201;
- строго соблюдать производственную инструкцию по безопасности труда при работе на пылеприготовительных установках.

В целях снижения разрушающего действия ударной волны при взрыве угольной пыли во взрывоопасных помещениях должны быть предусмотрены легко сбрасываемые наружные ограждающие конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 22.0.08-96. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Взрывы.
2. Старостено А., Михайлов Л. и др. Безопасность в ЧС техногенного характера. Взрывы и промышленная безопасность// ОБЖ. - 2004. - №5. – с. 35 - 40.
3. Хзмалян Д.М. Каган Я.А. Теория горения и топочные устройства. -М.: Энергия, 1976.
4. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. –М.: Наука, 1969.
5. Сайт: www.gismeteo.ru
6. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность. Справочник / под ред Баратова. –М.: Химия, 1987.
7. Коузов П.А., Скрябина Л.Я. Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей. -Л.; Химия, 1983. 143 с.
8. В.Г. Атаманюк. Гражданская оборона. Учебное пособие для высших технических учебных заведений. - М.: Высшая школа, 1986.