

ОЦЕНКА ПОЖАРО- И ВЗРЫВООПАСНОСТИ ТРУБЧАТЫХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ КАМЕННОУГОЛЬНОЙ СМОЛЫ

Топоров А.А., Акусова А.А., Алексеева О.Е. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)
Клешня Г.Г., Кирбаба В.В. (АКХЗ, г. Авдеевка, Украина)

Agency saved up potential energy in pipe-still heaters for coal tar rehash on complex criterion of danger of the equipment is observed. The estimation of the basic dangerous factors is resulted which can originate at emergencies of pipe-still heaters

Каменноугольная смола является важным сырьевым источником конденсированных ароматических и гетероциклических соединений, покрывающим в настоящее время более 95 % мировой потребности [1]. Т.к. каменноугольная смола является сложной и многокомпонентной средой [1] осуществляют разделение смолы на фракции, используя метод ректификации в трубчатых установках [2]. При этом используется метод однократного испарения и фракционной конденсации [2]. Испарение каменноугольной смолы проводят в трубчатых печах [3]. Для этого смолу нагревают с помощью коксового газа до температуры однократного испарения.

Работа трубчатых печей связана с рядом особенностей. В змеевиках одновременно находится от 3 до 15 тонн каменноугольной смолы, которая является горючей жидкостью. Многие компоненты, входящие в состав каменноугольной смолы: антрацен, фенол, нафталин, пары пека имеют температуру воспламенения не выше 170 °С, а температуру самовоспламенения до 570 °С. При этом смола нагревается до температуры 380- 400 °С и находится под высоким давлением (~2 МПа).

Аварии с трубчатыми печами с большой вероятностью сопровождаются высвобождением рабочей среды. При выходе наружу из печи продукт сразу же воспламенится, если его температура превышает температуру самовоспламенения. В противном случае продукт может интенсивно испаряться и воспламенится после того, как пары его будут затянуты в топочное пространство. Попадая из змеевиков внутрь печи, продукт вызывает интенсивное горение, которое может привести к деформации труб змеевика, обрушению стен и свода, повреждению дымовых каналов и дымовой трубы. Убытки от повреждения при пожаре могут быть большими, так как сама печь является достаточно дорогостоящим сооружением.

Поэтому важное значение уделяется вопросам обеспечения безопасности трубчатых печей на всех этапах жизненного цикла. Для определения уровня опасности трубчатых печей возможно использовать комплексный критерий опасности [4], который позволяет определить уровень опасности различного по типу оборудования на различных стадиях эксплуатации (рис. 1). При этом критерий опасности включает показатели, которые зависят от потенциала объекта; технического состояния; сопротивления опасности; а так же показатель, учитывающий тяжесть последствий при возникновении аварий на объекте [5].

Показатель технического состояния объекта [6] показывает степень изношенности оборудования. Этот показатель дает представление о увеличении вероятности реализации опасности оборудования при эксплуатации.

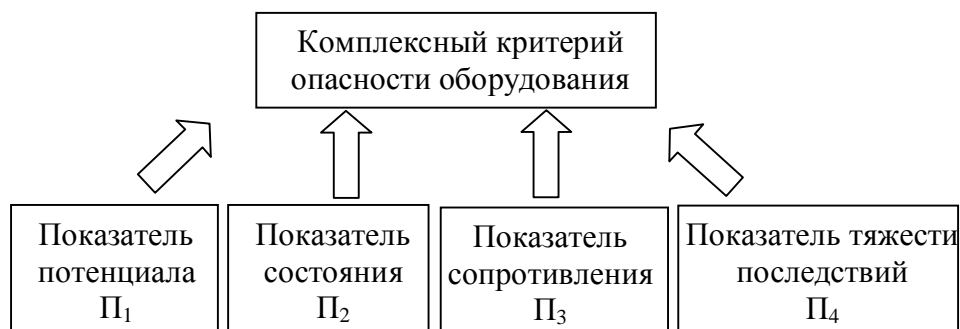


Рисунок 1- Комплексный критерий опасности оборудования

Показатель сопротивления опасности [5] учитывает степень оснащенности оборудования средствами защиты и предотвращения возникновения и развития аварийных ситуаций. При этом учитывают вероятность срабатывания защитных средств, а так же степень защиты, т.е. определяют средство защиты препятствует возникновению аварии или только уменьшает последствия, влияет на безопасность оборудования в целом или отдельных элементов, на какое количество всех возможных поломок влияет и др.

Показатель тяжести последствий учитывает возможный ущерб здоровью человека, экологический и материальный ущерб.

Показатель потенциала объекта [5] рассчитывается с учетом накопленной в объекте энергии, как энергии самого оборудования, так и энергии рабочей среды. Этот показатель является одним из основных при расчете комплексного показателя опасности, т.к. химическое производство характеризуется высокой энергонасыщенностью рабочих сред.

В данной статье будет рассмотрен показатель потенциала объекта, который можно представить в виде зависимости

$$P_1=f(E),$$

где E - накопленная энергия объекта;

В химическом оборудовании накоплены различные виды энергии: потенциальная, кинетическая, тепловая, химическая энергии.

Потенциальная энергия представляет собой энергию сжатой рабочей среды, либо энергию тел, расположенных на значительной высоте и имеющих значительную массу. Этот вид энергии характеризуется избыточным давлением в объекте, высотой подъема тела относительно заданной точки пространства, вес тела. Для трубчатой печи потенциальная энергия представлена в первую очередь рабочей среды с избыточными давлением каменноугольной смолы (~2 МПа) и коксового газа (~1 МПа).

Кинетическая энергия это в первую очередь энергия движущихся частей в объекте, а так же энергия движения рабочей среды. Кинетическую энергию в трубчатой печи представлена в виде энергии движущейся смолы, обогревающего газа и отходящих газов.

Химическая энергия характеризуется объемом опасного вещества и предельно допустимыми концентрациями для токсических веществ и минимальной взрывоопасной концентрацией для взрывоопасных веществ. Каменноугольная смола относится к 4 классу опасности по ГОСТ 12.1.007-90, однако некоторые вещества входящие в состав каменноугольной смолы относятся к 1 и 2 классу опасности [7].

Показателями, характеризующими тепловую энергию, являются разность температур внутри и снаружи объекта, количество нагретой среды в объекте, удельная теплоемкость среды и др. Теплопроизводительность трубчатой печи составляет

примерно 50 кДж/ч.

Вклад различных видов энергии в общую энергию трубчатой печи не значительный и при расчете общей энергии некоторыми видами энергии можно пренебречь.

Основными видами энергии при взрывах являются тепловая энергия и энергия от избыточного давления. Для расчета этих показателей используются стандартные методики [8, 9, 10,11]

Энергетический потенциал взрывоопасности E (кДж) блока определяется [8] полной энергией сгорания парогазовой фазы, находящейся в блоке, с учетом величины работы ее адиабатического расширения, а также величины энергии полного сгорания испарившейся жидкости с максимально возможной площади ее пролива.

$$E = E'_1 + E'_2 + E''_1 + E''_2 + E''_3 + E''_4.$$

E'_1 - сумма энергий адиабатического расширения A (кДж) и сгорания парогазовой фазы, находящейся в блоке, кДж

E'_2 - энергия сгорания парогазовой фазы, поступившей к разгерметизированному участку от смежных объектов (блоков), кДж

E''_1 - энергия сгорания парогазовой фазы, образующейся за счет энергии перегретой жидкой фазы рассматриваемого блока и поступившей от смежных объектов за время τ_1 , кДж

E''_2 - энергия сгорания парогазовой фазы, образующейся из жидкой фазы за счет тепла экзотермических реакций, не прекращающихся при разгерметизации, кДж

E''_3 - энергия сгорания парогазовой фазы, образующейся из жидкой фазы за счет теплопритока от внешних теплоносителей, кДж

E''_4 - энергия сгорания парогазовой фазы, образующейся из пролитой на твердую поверхность (пол, поддон, грунт и т.п.) жидкой фазы за счет теплоотдачи от окружающей среды (от твердой поверхности и воздуха к жидкости по ее поверхности), кДж:

Потенциальная энергия рабочих сред при взрывах проявляется в виде избыточного давления горючих газов, паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей [7]

Избыточное давление Δp , кПа, для индивидуальных горючих веществ, состоящих из атомов С, Н, О, N, Cl, Br, I, F, рассчитывают по формуле

$$\Delta p = (p_{\max} - p_0) \cdot \frac{mZ}{V_{\text{св}} \rho_{\text{г,п}}} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_n},$$

где p_{\max} — максимальное давление, развиваемое при сгорании стехиометрической газозооудушной или парозооудушной смеси в замкнутом объеме; p_0 — начальное давление, кПа; m — масса горючего газа или паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, вышедших в результате расчетной аварии в помещение, кг; Z — коэффициент участия горючего при сгорании газопарозооудушной смеси, который может быть рассчитан на основе характера распределения газов и паров в объеме помещения; $V_{\text{св}}$ — свободный объем помещения, м³; $\rho_{\text{г,п}}$ — плотность газа или пара при расчетной температуре t_p , кг/м³; $C_{\text{ст}}$ — стехиометрическая концентрация горючих газов или паров легковоспламеняемых жидкостей и горючих жидкостей, % ; K_n — коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения.

Расчет Δp , кПа, для индивидуальных веществ, кроме ранее упомянутых, а также

для смесей может быть выполнен по формуле:

$$\Delta p = \frac{m H_m p_0 Z}{V_{ce} \rho_e C_p T_0} \cdot \frac{1}{K_n}$$

где H_T — теплота сгорания, Дж/кг; ρ_e — плотность воздуха при начальной температуре T_0 , кг/м³; C_p — теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К); T_0 — начальная температура воздуха, К; p_0 — атмосферное давление, кПа; m — поступившего в помещение газа, кг.

Затем выбирают наибольшее давление из двух рассчитанных:

$$\Delta p = \max \{ \Delta p_1; \Delta p_2 \}$$

Не маловажным фактором является скорость нарастания давления при взрыве, которая используется для выбора предохранительных устройств. При отсутствии экспериментальных данных о скорости роста давления газозвдушной смеси при взрыве, величина dP/dt может быть определена по формуле:

$$\frac{dP}{dt} = k_T \cdot F \frac{(P_0 + 10^5) U_T}{V} \cdot (\varepsilon - 1) \cdot \left(\frac{P_m + 10^5}{P_0 + 10^5} \right)^{\frac{1}{\gamma}}$$

где k_T — коэффициент турбулизации фронта пламени; F — максимально возможная поверхность фронта пламени при сгорании смеси в данном аппарате, м², γ — показатель адиабаты; V — свободный объем внутренней полости аппарата, в которой возможно распространение взрыва, м³. ε — степень увеличения давления данной горючей смеси.

Тепловая энергия при аварийных ситуациях характеризуется интенсивностью теплового излучения, а так же температурой горения.

Интенсивность теплового излучения [8] рассчитывают по формуле

$$q = E_f \cdot F \cdot \tau,$$

где E_f — среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени, кВт/м²;

F_q — угловой коэффициент облученности;

τ — коэффициент пропускания атмосферы.

Температура горения может быть рассчитана по формуле (для изохорного процесса) [10]:

$$T_{e,V} = T_0 + \frac{m_T \cdot Q_p}{\sum [(C_p - R) \cdot m_i]},$$

где C_p — среднее значение теплоёмкости в интервале температур $0 \div T$ (К) для компонентов смеси; Q_p — мольная теплота сгорания при постоянном давлении, кДж/моль; m_T — число молей горючего в смеси; m_i — число молей i -го компонента в смеси (соответственно горючего, окислителя, азота); R — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); T_0 — начальная температура смеси, К.

Таким образом, наибольший вклад в показатель потенциала трубчатой печи вносят тепловая энергия рабочих сред, которая может реализовываться при пожарах и потенциальная энергия - давление взрыва. Поэтому при расчете потенциала энергии необходимо учитывать именно эти виды энергии.

Так как наибольший вклад в опасность трубчатых печей вносят энергии, выделяющиеся при пожарах и взрывах рабочей среды, следовательно, необходимо не допускать возникновения этих аварийных ситуаций. Для этого необходимо учитывать остальные показатели опасности оборудования: показатель технического состояния; сопротивления опасности; а так же показатель, учитывающий тяжесть последствий при возникновении аварий; т.е. необходимо следить за техническим состоянием оборудования, своевременно проводить диагностику и ремонты оборудования, применять мероприятия по повышению сопротивляемости опасности (установка

датчиков давления, температуры смолы и дымовых газов), а также мероприятия по снижению последствий при возникновении аварии.

Список литературы: 1. Павлович О.Н. Состав, свойства и перспективы переработки каменноугольной смолы. - Екатеринбург: ГОУ ВОП УГТУ-УПИ, 2006.- 41 с. 2. Лейбович Р.Е., Яковлева Е.И., Филатов А.Б. Технология коксохимического производства. – М.: «Металлургия», 1982. – 360 с. 3. Ярослав Котишек, Владимир Род . Трубчатые печи в химической промышленности. – Л.: 1963. – 150 с. 5. Акусова А.А., Топоров А.А. К определению уровня опасности оборудования на стадии эксплуатации // Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів // Збірка доповідей XX Міжнародної наукової конференції аспірантів та студентів. Т1.- Донецьк: ДонНТУ, ДонНУ, 2010. – С. 128-129. 6. Топоров А.А., Акусов В.В., Локтионова А.А. Система расчета опасности оборудования с учетом его износа// «Экологические проблемы промышленных мегаполисов». Труды VI международной научно-практической конференции. М.: МГУИЭ, 2009. С. 124-128. 7. Вредные вещества в промышленности / Справочник для химиков, инженеров и врачей/ Под ред. Лазарева Н.В., Левиной Э.Н. – Л.: Химия, 1976.- 592 с. 8. Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004-91. - [Действующий от 01.06.1991]. – К.: 1991. - 23 с. 9. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности: ГОСТ 12.1.007-76. - [Действующий от 01.04.1976].- М.: 1976. –25 с. 10. Взрывобезопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ.-[Действующий от 01.04.1976].- К.: Держспоживстандарт України 1976. – 37 с. 11. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения: ГОСТ 12.1.044-89. [Действующий от 01.01.91].- М.:1989. –106 с.