

УДК 621

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВЫДЕЛЕНИЯ МЕТАНА ИЗ ИСХОДЯЩЕЙ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СТРУИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Я.П. Торгунакова, студент группы ГПс–121, 3 курс

К.Ю. Кривелева, студент группы ГПс–121, 3 курс

Научный руководитель: В.Г. Смирнов, к.ф.-м.н., ст. преп. кафедры физики
факультета фундаментальной подготовки

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Метан является неперенным компонентом любого угольного месторождения. Рост объема подземной добычи каменного угля часто осуществляется за счет вовлечения в промышленную разработку угольных пластов глубокого залегания и повышенной метаноемкости. В местах ведения горных работ метан выделяется в шахтную атмосферу из поверхностей обнажения угольного пласта и из отбитого угля. В соответствии с технологией ведения горных работ, чтобы не допустить превышение предельных концентраций метана в шахтных выработках метан разбавляется вентиляционной струей, выводится на поверхность и выбрасывается в земную атмосферу. По некоторым оценкам [1] из шахт Кузнецкого региона ежегодно выбрасывается в атмосферу около одного миллиарда кубических метров метана. Метан создает парниковый эффект и может нарушать экологическое равновесие Земли. Одновременно с этим, метан является ценным энергетическим и химическим сырьем. Поэтому задача извлечения метана из исходящих вентиляционных струй является актуальной.

В нашей работе, исходя из физических свойств метана, исследуются возможные физические методы выделения из метановоздушной смеси чистого метана или смеси метана с воздухом в концентрациях пригодных для промышленного использования. Содержание метана в исходящей струе угольных шахт, исходя из требований безопасности, не должно превосходить $0.2 \div 0.5$ %. При содержании метана в воздухе до 4 % его горение можно вызвать только при внешнем подводе теплоты. При атмосферном давлении и температуре порядка 290 К метановоздушная смесь с концентрацией метана $5 \div 15$ % становится взрывоопасной. При содержании метана в воздухе более 30 % его можно сжигать в энергетических установках. При содержании $90 \div 95$ % метан можно хранить и транспортировать.

Для разработки потенциальной технологии разделения смеси метана с воздухом необходимо определить те физические свойства, которые могут существенно отличаться у метана и воздуха.

Несмотря на то, что температура конденсации метана (111,5 К) выше температуры конденсации азота (77,3 К) и кислорода (90 К) – основных со-

ставляющих воздуха, конденсировать метан из метановоздушной смеси не получится в виду его малой концентрации. Например, при температуре вблизи температуры жидкого азота равновесное давление насыщенных паров метана в газовой фазе имеет величину порядка 1.33 кПа. Если предположить что метановоздушная смесь находится при атмосферном давлении (100 кПа), получим, что при охлаждении воздуха до температуры жидкого азота конденсация метана начинается при превышении пороговой концентрации 1.33 %. Концентрация метана в исходящей струе меньше, поэтому он не будет конденсироваться.

Еще одно существенное отличие в физических свойствах – молярная масса. Молекулы метана (0.016 кг/моль) существенно легче молекул азота (0.028 кг/моль) и кислорода (0.032 кг/моль), соответственно, у более легких молекул метана примерно в $\sqrt{2}$ раз выше скорость теплового движения. Это различие можно использовать [2, 3] для разделения газовых смесей при эффузии. Эффузия – истечение ультра разреженных газов через отверстия, размеры которых превосходят длину свободного пробега. В этом случае движение газа нужно рассматривать не как сплошную среду, а как поток отдельных молекул, которые проходят через отверстие, почти не сталкиваясь между собой. Количество молекул, прошедших в единицу времени через малое отверстие (поток молекул – j) в этом случае пропорционален концентрации молекул – n и $\langle u \rangle$ – их средней скорости: $j = n \cdot \langle u \rangle$.

Если разделить два сосуда пористой перегородкой и создать разность давления, то поток молекул из одного сосуда в другой будет зависеть как от концентрации молекул на входе в сосуд, так и от средней скорости их движения. Быстрые молекулы в большем количестве проникают из сосуда с высоким давлением в сосуд с низким давлением, так что в сосуде с большим давлением остается больше тяжелых и медленных молекул, а сосуд с низким давлением обогащается легкими и быстрыми молекулами. Так как степень разделения невелика, то обычно используют каскад из нескольких десятков насосов и сосудов с перегородками.

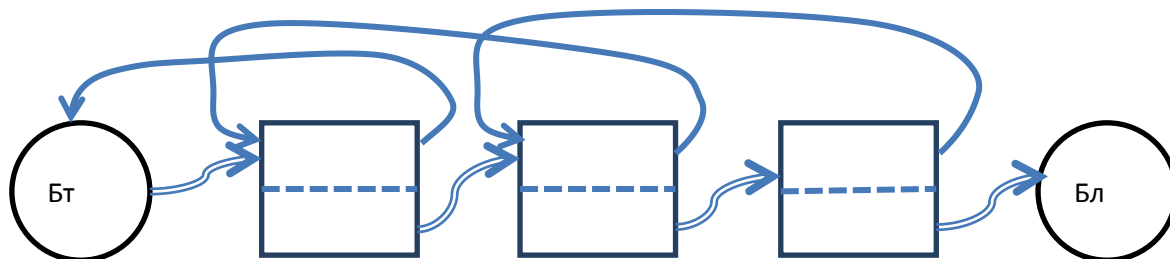


Рис. 1. Трехкаскадная установка для разделения газов эффузионным способом.

На рис. 1 изображена трехкаскадная установка для разделения газов эффузионным способом [2]. Двойными линиями изображен путь газа, обогащенного легкими компонентами, а сплошными линиями изображен путь газа, обогащенного тяжелыми компонентами. Насосы не изображены. Прямоугольниками показаны разделительные сосуды с пористой перегородкой. Бт и

Бл – баллоны с газом, обогащенным, соответственно, тяжелыми и легкими компонентами.

Другой способ разделения газов, отличающихся по массе, основан на явлении термодиффузии. Явление термодиффузии возникает, если на разных концах сосуда с газом поддерживаются разные температуры. В этом случае, чаще всего, вблизи холодного конца скапливаются тяжелые и медленные молекулы, а возле более нагретого конца газ обогащается легкими компонентами. Из-за разности температур возникают встречные термодиффузионные потоки молекул разных сортов. Эти потоки уравниваются обычной диффузией, так что вблизи разных стенок сосуда устанавливаются различные концентрации (n_1, n_2) молекул одного или другого сорта. Градиент концентрации [3] вдоль оси x молекул одного сорта определяется следующим выражением: $\frac{dn_1}{dx} = \alpha n_1 n_2 \frac{d \ln T}{dx}$. Константа термодиффузии $\alpha = \frac{\Delta m}{m_1 + m_2} \frac{l-5}{l-1}$ зависит от разности молекулярных масс, а также от l – показателя степени в законе убывания силы отталкивания между молекулами ($1/r^l$).

Разделительной колонкой [3] может являться сосуд высотой в два метра. Расстояние между вертикальными нагреваемой и охлаждаемой стенками порядка 10 миллиметров. Давление в разделительной колонке постоянное, а плотность газа вблизи нагретой стенки ниже, чем вблизи охлаждаемой. При этом возникают также конвекционные потоки, которые усиливают разделение. Газ, обогащенный легкими компонентами, скапливается вверху сосуда, а газ, обогащенный тяжелыми компонентами, накапливается в нижней части сосуда. Отобранные отдельно из верхней и нижней части сосуда газы направляются в следующую колонку для дальнейшего разделения. Установки для термодиффузионного разделения газов обычно делают многокаскадными, с целью увеличения коэффициента разделения.

Можно предложить также способ разделения тяжелых и легких газов, основанный на использовании центрифуги. Смесь газов, помещенная в центрифугу, вращающуюся с угловой скоростью ω , находится в потенциальном поле, созданном центробежной силой. В соответствии с распределением Больцмана для каждого типа молекул концентрация на оси центрифуги n_{01} и концентрация n_{R1} на расстоянии R от оси центрифуги определяется следующим выражением: $n_{R1} = n_{01} \exp\left(\frac{m_1 \omega^2 R^2}{kT}\right)$, соответственно отношение концен-

траций молекул разных сортов вблизи оси и на удалении от оси на расстояние R будет различным: $\frac{n_{R1}}{n_{R2}} = \frac{n_{01}}{n_{02}} \exp\left(\frac{\Delta m \omega^2 R^2}{kT}\right)$. В центральной части центрифуги газовая смесь обогащается легкими, а на периферии от оси вращения тяжелыми компонентами. Отбирая отдельно газ из центральной области и области, максимально удаленной от оси центрифуги можно получать различные

концентрации тяжелых и легких компонент и использовать эти газы для дальнейшего разделения. Для увеличения коэффициента разделения необходимо использовать многокаскадную установку.

Таким образом, нами предложено несколько физических методов возможного выделения метана из исходящей вентиляционной струи угольных шахт. Переход через опасную концентрацию метана можно произвести, создавая криогенные температуры или высокое разрежение. Описанные методы могут быть положены в основу технологии, которая уменьшит выбросы метана угольных шахт в атмосферу и позволит использовать его в промышленном производстве.

Список литературы:

1. Малышев, Ю. Н. Фундаментально-прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов / Ю. Н. Малышев, К. Н. Трубецкой, А. Т. Айруни. – Москва : Изд-во АГН, 2000. – 519 с.
2. Савельев И. В. Курс общей физики: Учебник. В 3-х тт. Т. 1. Механика. Молекулярная физика. 10-ое изд., стер. – СПб.: Изд-во «Лань», 2008. – 432 с.
3. Кикоин, И. К. Молекулярная физика / И. К. Кикоин, А. К. Кикоин. – Москва : Физматгиз, 1963. – 500 с.