

твердого продукта пиролиза в рабочем объеме дробилки, что способствует воздействию на материал дополнительных сжимающих нагрузок за счет сложного движения подвижной щеки.

По результатам проведенных исследований были определены рациональные параметры процесса дробления твердых продуктов пиролиза отходов резинотехнических изделий, в частности оптимальной производительности. Было выявлено что дробление при зазоре между щеками 3–4 мм является наиболее пригодным для первичного измельчения материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Современные экологические и экономические проблемы утилизации отработавших автомобильных шин: материалы междунар. научно-техн. конф. ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в Рос.: приоритеты развития и подготовка кадров», посвященной 145-летию МГТУ «МАМИ», секция 10, М., 27–28 марта 2010 г. / МГТУ; под ред. Бахмутова С.В. [и др.]. – М., 2011. – 139 с.

2 Тарасова Т.Ф., Чапалда Д.И. Экологическое значение и решение проблемы переработки изношенных автошин // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2006. – Т. 2. – № 2. – С. 130–135.

3 Луговой, Ю. В. Каталитический пиролиз полимерного корда изношенных автомобильных шин в присутствии хлоридов металлов подгруппы железа / Ю. В. Луговой, Ю. Ю. Косивцов, Э. М. Сульман // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2008. – Т. 51, вып. 12. – С. 73–76.

УДК 621.928.37+621.928.93

В.В. Кузьмин, канд. техн. наук, доц.;
В.С. Францкевич, канд. техн. наук, зав. кафедрой;
И.Б. Лепесбаев, магистрант (БГТУ, г. Минск)

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЦИКЛОНОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

Большая часть гидравлических потерь, имеющих место при очистке газа от пыли в циклонах, обусловлена интенсивным вращательным движением покидающего циклон газового потока. Для рекуперации кинетической энергии этого движения можно использовать специальные раскручивающие устройства, позволяющие существенно снизить гидравлическое сопротивление циклонов [1]. В то же время, поскольку установка таких устройств сопровождается дополнительными

капитальными затратами, нужно просчитывать экономическую целесообразность их применения.

Экономический эффект от использования энергосберегающих устройств определяется прежде всего стоимостью электроэнергии. Для промышленности Республики Узбекистан стоимость эта относительно невелика, составляя 450 сум за 1 кВт·ч (соответствует $\approx 0,043$ доллара США). С другой стороны, стоимость циклонов и в целом металлоизделий для вентиляционных систем, относительно высока, т. к. они в основном поставляются из России.

Энергетические затраты на очистку газа в циклоне N [2]:

$$N = \frac{\Delta P \cdot Q}{1000 \cdot \eta_e \cdot \eta_n \cdot \eta_{дв}} \tau, \text{ кВт}\cdot\text{ч}, \quad (1)$$

где Q – производительность циклона (расход очищаемого газа), м³/с; $\eta_e, \eta_n, \eta_{дв}$ – КПД вентилятора, передачи и двигателя соответственно; τ – количество часов работы; ΔP – гидравлическое сопротивление циклона:

$$\Delta P = \xi \frac{w^2 \cdot \rho}{2}, \text{ Па}, \quad (2)$$

где ξ – коэффициент гидравлического сопротивления циклона; w – условная скорость газа в циклоне, м/с; ρ – плотность очищаемого газа, кг/м³.

Производительность связана с диаметром циклона и количеством циклонов в группе n (для одиночного циклона $n = 1$) соотношением:

$$Q = n \cdot w \frac{\pi D^2}{4}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (3)$$

Экономия на электроэнергии при использовании раскручивающего устройства:

$$\Delta \mathcal{E} = N \cdot \varepsilon \cdot C_э, \text{ сум.}, \quad (4)$$

где $C_э$ – стоимость электроэнергии, сум за кВт·ч; ε – доля, на которую снижается ΔP ; $\varepsilon = 0,275$ для ЦН-15 [1].

Выразим $\Delta \mathcal{E}$ через диаметр циклона:

$$\Delta \mathcal{E} = \frac{\xi(w^2 \cdot \rho / 2) \cdot n \cdot w(\pi D^2 / 4)}{1000 \cdot \eta_e \cdot \eta_n \cdot \eta_{дв}} \tau \cdot \varepsilon \cdot C_э = \frac{\pi D^2 \cdot \xi \cdot w^3 \cdot \rho \cdot n}{8000 \cdot \eta_e \cdot \eta_n \cdot \eta_{дв}} \tau \cdot \varepsilon \cdot C_э \quad (5)$$

Геометрическое подобие циклонов разного диаметра (без бункера и коллекторов газа) и раскручивающих устройств к ним позволяет приближенно принять их стоимость и массу при одинаковой толщине стенки пропорциональной диаметру циклона во второй степени. Масса двухлопастного раскручивателя [1] с удлиненной частью выхлопной трубы для наиболее распространенного типа циклона ЦН-15 составит $31,2D^2$ кг

(где D – диаметр циклона в метрах) при толщине листа для изготовления раскручивающего устройства 1 мм, толщине стенки удлиненного наружного участка выхлопной трубы равной 3 мм и плотности стали 7850 кг/м³. Стоимость определим пропорционально металлоемкости исходя из стоимости циклона [3], выразив в виде $31,2D^2 \cdot C$, где C – стоимость, приходящаяся на 1 кг массы. С учётом дополнительные затрат (например, на монтаж) капитальные затраты на установку раскручивающего устройства ΔK примем на 25% выше [3] его стоимости, т.е. $\Delta K = 39D^2 \cdot C$.

Тогда продолжительность работы циклона, за которую окупится раскручивающее устройство (т.е. при условии $\Delta K = \Delta \Xi$), без дисконтирования денежных потоков:

$$\tau_{ок} = \frac{312 \cdot 10^3 \cdot C \cdot \eta_{\epsilon} \cdot \eta_n \cdot \eta_{ог}}{\pi \cdot \xi \cdot w^3 \cdot \rho \cdot n \cdot \epsilon \cdot C_3}, \text{ ч} \quad (6)$$

Величина ξ зависит от организации выхода очищенного газа из циклона. Для одиночного циклона при выходе очищенного газа в атмосферу $\xi = 163$ для ЦН-15, в групповых циклонах с воздухоборником ξ увеличивается на 35 [2, 4]. Расчет проведем по величине ξ для одиночных циклонов, на которых получены значения ϵ . При использовании раскручивающих устройств в групповых циклонах с воздухоборником энергосберегающий эффект, как ожидается, будет выше, вследствие снижения гидравлического сопротивления воздухоборника, поскольку взаимодействие в нем выходящих из соседних циклонов встречно закрученных потоков вызывает, видимо, значительные гидравлические потери тут и объясняет существенное увеличение ξ .

Исходя из рыночной стоимости циклона ЦН-15 значение C составит около 59 тыс. сум с учётом доставки. Примем $\rho = 1,2$ кг/м³, КПД вентиляторного агрегата (произведение η_v , η_n и $\eta_{дв}$) равным 0,6. Рекомендуемое значение w равно 3,5 м/с, а при улавливании абразивной пыли 2,5 м/с [2]. С учетом принятых величин при $w = 3,5$ м/с величина $\tau_{ок} \approx 3400$ ч, т.е. простой срок окупаемости раскручивающего устройства при непрерывной работе оборудования составит менее полугода. При малом количестве часов работы – например при односменном графике работы с двумя выходными ($\tau \approx 2080$ ч в год), срок окупаемости увеличится примерно до полутора лет.

При $w = 2,5$ м/с продолжительность работы циклона, за которую экономия на электроэнергии уравнивается с величиной дополнительных капитальных затрат на раскручивающее устройство, увеличится уже до ≈ 9300 ч, а простой срок окупаемости при односменном графике работы до 4,5 лет. Дисконтированный срок окупаемости в таком случае при ча-

сто принимаемой для расчета в постоянных ценах ставке дисконтирования равной 0,1 составит около 6 лет.

Таким образом, при $\tau > 2000$ ч в год и близком к нормативному (10 лет и более [5]) сроке службы циклона, применение раскручивающих устройств можно считать экономически выгодным. При меньших значениях или существенном отклонении других величин от принятых для обоснования применения потребуются уточняющие расчеты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мисюля, Д. И. Влияние раскручивающего устройства на эффективность очистки в циклонах / Д.И. Мисюля, В.В. Кузьмин, В.А. Марков // Промышленная энергетика. – 2011. – № 4. – С. 37–39.
2. Лазарев, В. А. Циклоны и вихревые пылеуловители: справочник / В. А. Лазарев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Н. Новгород: Фирма ОЗОН-НН, 2006. – 320 с.
3. Альперт, Л. З. Основы проектирования химических установок: учеб. пособие для учащихся химико-механических специальностей техникумов / Л. З. Альперт. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989. – 304 с.
4. Циклоны НИИОГАЗ. Руководящие указания по проектированию, изготовлению, монтажу и эксплуатации / под науч. ред. В. Н. Ужова. – Ярославль: Верх.-Волж. книж. изд-во, 1970. – 95 с.
5. Временный республиканский классификатор амортизируемых основных средств и нормативные сроки их службы. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007 – 120 с.

УДК 667.6

А.Д. Санько, магистрант (ОАО «Беларуськалий»);
В.С. Францкевич, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА КОНСТРУКЦИИ ПЕСКОВОЙ НАСАДКИ ГИДРОЦИКЛОНОВ ПРИ СГУЩЕНИИ СУСПЕНЗИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ

Гидроциклоны используются для разделения (сгущения) грубых суспензий, а также для классификации суспензий, грубого разделения нестойких эмульсий. Схема гидроциклона для разделения суспензий представлена на рисунке 1. Гидроциклон имеет короткий цилиндрический корпус 1 с тангенциальным патрубком 2 для ввода суспензии и коническим днищем 3 с малым углом онустности. Днище заканчивается отверстием – песковым патрубком 4 (штуцером отвода сгущенной суспензии). Корпус 1 разделен кольцевой перегородкой 5 с патрубком 6 на