

нов через анионную мембрану, на второй — преобладающее окисление хлоридов с выделением свободного хлора.

### Список литературы

1. Андрияш С.В., Гомеля И.Н., Шаблій Т.А. Регенерация катионита КУ-2-8 при создании малоотходных технологий умягчения и обессоливания воды // Экотехнологии и ресурсосбережение. — 2007. — № 2. — С. 34–39.
2. Колесников В.А., Вараксин С.О., Громова Э.В. Некоторые закономерности электрофлотационного извлечения ионов никеля, меди, цинка их промывных и сточных вод гальванических производств // Очистка сточных вод и регенерация ценных компонентов. — М.: МХТИ, 1990. — С. 120–124.
3. Гомеля М.Д., Шаблій Т.О. Розробка маловідходної іонообмінної технології пом'якшення води // Экотехнологии и ресурсосбережение. — 2000. — № 1. — С. 56–64.
4. Заявка 1314699 ЕПВ, МПК<sup>7</sup> С 02 F 1/461. Electrolyzed water production apparatus / Yamaguchi Hiroki, Kamitani Yoshinori. — Оpubл. 28.05.03.
5. Заявка 2867694 Франция, МПК<sup>7</sup> В 01 D 61/50, С 02 F 1/469. Compartiment et cellule d'electrodialyse, procede de montage d'un electrodi-alyseur et electrodi-alyseur / Botte Luc, SOLVAYSA Beige. — Оpubл. 23.09.05.
6. Писарска Б., Дылевски Р. Анализ условий получения H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и NaOH из растворов сульфата натрия методом электродиализа // Журн. прикл. химии. — 2005. — Т. 78, № 8. — С. 1311–1316.

Поступила в редакцию 02.03.10

## Alkaline and Neutral Regeneration Solutions of Ion-Exchange Water Softening Treatment by Electrolysis Method

*Shabliy T.A.*

*National Technical University of Ukraine «KPI», Kiev*

The results of electrolysis process model solutions investigation similar to waste regeneration solutions are adduced. It is displayed that during electrolysis of neutral or alkaline sulphate containing solutions sulphuric acid and alkali in the sufficient concentrations for repeated utilization are generated.

**Key words:** electrolysis, alkaline and neutral regeneration solutions.

Received March 2, 2010

УДК 614.712

## Комбинированная система очистки воздуха

*Бутенко А.Г., Смык С.Ю.*

*Одесский национальный политехнический университет*

Предложена комбинированная система очистки воздуха с делением запыленного потока в разделительном аппарате на основной и циркуляционный. Приведена методика расчета показателей комбинированной системы на примере очистки воздуха в помещении дробления стройматериалов после демонтажа старых зданий. Расчеты показывают многократное снижение выбросов пыли в атмосферу по сравнению с обычной схемой очистки.

**Ключевые слова:** комбинированная система очистки воздуха, степень улавливания пыли. Запропоновано комбіновану систему очищення повітря з поділом запыленого потоку у розподілюючому апараті на основний та циркуляційний. Наведено методику розрахунку показників комбінованої системи на прикладі очищення повітря у приміщенні подрібнення будматеріалів після демонтажу старих будівель. Розрахунки засвідчують багаторазове зниження викидів пилу в атмосферу у порівнянні зі звичайною схемою очищення.

**Ключові слова:** комбінована система очищення повітря, ступінь уловлювання пилу.

Для очистки воздуха от пыли в системах аспирации небольших производств используются, как правило, инерционные уловители (циклоны). Основным их недостатком является невысокая степень улавливания, из-за чего они не соответствуют современным требованиям экологической безопасности. Замена циклонов высокоэффективными фильтрами в таких системах не проводится, главным образом, по экономическим соображениям.

Пути повышения эффективности работы циклонов конструктивными методами практически исчерпаны. Их степень улавливания  $\eta$  может быть существенно повышена за счет изменения фракционного состава поступающей в фильтр пыли: чем больше доля в ее массе крупных фракций, тем эффективнее очистка [1, 2]. Такая возможность реализуется в комбинированной системе очистки (рис.1). Ее отличительной особенностью является то, что захваченная зонтом масса  $M_3$  не поступает непосредственно в уловитель, а делится по фракционному признаку в разделителе. Поток с тонкими фракциями направляется в уловитель циркуляционного контура, а с крупными — в основной уловитель. Поскольку коэффициент улавливания крупных фракций достаточно высокий, то проскок пыли в окружающую среду  $M_0^{пр}$  является незначительным. Это обеспечивает экологический эффект. Ясно, что повышение эффективности основного уловителя происходит за счет снижения этого показателя в аппарате циркуляционного контура. Поскольку циркуляционный поток поступает не в окружающую среду, а в смешивающий аппарат (эжектор) и далее через разделитель снова на очистку, то величина проскока циклона циркуляционного контура  $M_{ц}^{пр}$  принципиального значения не имеет.

Очевидно, что описанная система очистки может компоноваться стандартным очистным и нагнетательным оборудованием. Исключение составляет разделитель, в качестве которого первоначально планировалось использовать одну из конструкций пылеконцентраторов систем топливоприготовления пылеугольных энергетических котлов [3]. Однако все эти конструкции

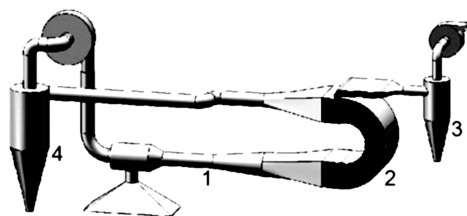


Рис.1. Схема комбинированной системы очистки: 1 — эжектор; 2 — разделитель; 3 — основной уловитель; 4 — уловитель циркуляционного контура.

по тем или иным критериям не соответствовали требованиям системы очистки. Поэтому были рассмотрены и исследованы другие конструкции разделителя, лучшим среди которых оказался разделитель с изменением направления потока на  $180^\circ$ . Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что в таких каналах за счет действия сил инерции траектории крупных частиц гораздо больше смещаются к внешней стенке поворота, чем мелких (более легких) [3, 4]. Часть газа, отобранная у внешней стенки, содержит преимущественно пыль крупных фракций. Этот газ поступает в основной уловитель.

Характеристики разделителя определялись численным моделированием с помощью прикладного пакета Solid Works COSMOSFloworks, позволяющего рассматривать газовые потоки с твердыми частицами [5]. Основные результаты исследований приведены в [6].

Комбинированная система разрабатывалась для очистки воздуха, отбираемого из помещения дробления стройматериалов по заказу фирмы «Орга Юг», специализирующейся на демонтаже старых строений. Ситовой анализ образцов собранной пыли позволил получить дифференциальную кривую распределения (ДКР)  $N_{zi} = f(\Delta)$ . Истинная плотность пыли, определенная пикнометрическим методом, составила  $2046 \text{ кг/м}^3$ . Объемный расход запыленного воздуха на входе в систему должен быть равным расходу основного канала  $Q_3 = Q_0$ . Он принимался равным  $3,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$ . Геометрические параметры разделителя были таковыми, что в основной канал из него поступало  $4,77 \%$  воздуха, а в циркуляционный контур  $95,23 \%$ . Этому условию соответствует расход циркуляционного контура  $Q_{ц} = 0,762 \text{ м}^3/\text{с}$  и расход на выходе из эжектора в разделитель  $Q_{вх} = 0,8 \text{ м}^3/\text{с}$ . На основании этих данных были рассчитаны геометрические параметры подлежащих изготовлению циклонов (в качестве прототипа принят элемент батарейного циклона БЦУ типа «Энергоуголь»). Также рассчитаны зависимости для парциальных коэффициентов улавливания циклонов  $\eta_{ци}^{y,l} = f(\Delta)$  и  $\eta_{oi}^{y,l} = f(\Delta)$ , необходимые для оценки эффективности системы.

Особенностями системы является то, что, во-первых, существует некоторый разгонный период, во время которого показатели эффективности очистки изменяются, во-вторых, после прекращения выделения пыли (остановки дробильной установки) для улавливания пыли циркуляционного контура требуется небольшой период времени работы — время выбега.

Масса пыли, выходящая из эжектора в разделитель, представляет собой сумму захваченной массы  $M_3$  и массы проскока уловителя цир-

куляционного контура  $M_{ц}^{пр}$ . Ее ДКР  $N_{эжi} = f(\Delta)$  определяется суммой масс  $i$ -й фракции, поступающей с захваченным воздухом и с потоком после уловителя циркуляционного контура:

$$N_{эжi} = (M_{zi} + M_{цi}^{пр}) \cdot 100 / [(M_z + M_{ц}^{пр}) \delta \Delta],$$

где  $\delta \Delta$  — разность максимального и минимального размеров частиц фракции,  $\delta \Delta = 10$  мкм.

Массы пыли в воздухе циркуляционного и основного каналов:

$$M_{ц} = \eta_{ц} M_{эж}; M_o = \eta_o M_{эж},$$

где  $\eta_{ц}$ ,  $\eta_o$  — коэффициенты разделения (доли массы пыли, поступающие из разделителя в циркуляционный контур и в основной канал) [6]:

$$\eta_{ц} = \frac{\sum_{i=1}^m \eta_{ци} \frac{N_{ци}}{100} \delta \Delta; \eta_o = \frac{\sum_{i=1}^m \eta_{oi} \frac{N_{oi}}{100} \delta \Delta.}{}$$

ДКР этих масс:

$$N_{ци} = \eta_{ци} N_{эжi}; N_{oi} = \eta_{oi} N_{эжi},$$

где  $N_{ци}$ ,  $N_{oi}$  — процентное содержание частиц  $i$ -го размера в массе пыли циркуляционного и основного потоков.

В циклоне циркуляционного контура улавливается секундная масса:

$$M_{ц}^{y.l} = \eta_{ц}^{y.l} M_{ц},$$

где  $\eta_{ц}^{y.l}$  — коэффициент улавливания аппарата:

$$\eta_{ц}^{y.l} = \frac{\sum_{i=1}^m \eta_{ци}^{y.l} \frac{N_{ци}}{100} \delta \Delta.}{}$$

Масса проскока:

$$M_{ц}^{пр} = (1 - \eta_{ц}^{y.l}) M_{ц} = M_{ц} - M_{ц}^{y.l}.$$

Ее ДКР:

$$N_{ци}^{пр} = (1 - \eta_{ци}^{y.l}) N_{ци}.$$

В основном циклоне улавливается масса:

$$M_o^{y.l} = \eta_o^{y.l} M_o,$$

где  $\eta_o^{y.l}$  — коэффициент улавливания аппарата:

$$\eta_o^{y.l} = \frac{\sum_{i=1}^m \eta_{oi}^{y.l} \frac{N_{oi}}{100} \delta \Delta.}{}$$

В окружающую среду поступает секундная масса, равная проскоку основного циклона:

$$M_o^{пр} = (1 - \eta_o^{y.l}) M_o = M_o - M_o^{y.l}.$$

По приведенным выше соотношениям рассчитаны показатели сконструированной системы для разгонного периода (первые 20 итераций)

и выбега (последующие 15) — всего  $n = 35$ . Такое их количество обусловлено тем, что при достижении некоторых  $n$  изменение рассматриваемых параметров становится исчезающе малым, поэтому дальнейшие расчеты уже не давали новых данных о динамике характеристик системы обеспыливания. Из-за невозможности точно определить секундную массу выделяемой дробилкой пыли она условно принималась равной единице, и расчеты велись в долях от этой величины. На рис.2 приведена динамика изменения эффективности отдельных элементов системы очистки, на рис.3 — динамика изменения относительных масс  $m = M/M_z$ .

Результаты расчетов показали, что наиболее важный с экологической точки зрения показатель, коэффициент улавливания основного циклона на протяжении разгонного периода, уменьшается от 0,98 до 0,95 (далее эта величина практически не изменяется). Это снижение обусловлено тем, что в каждом последующем расчетном цикле масса мелких фракций, поступающих в эжектор из циклона циркуляционного контура, возрастает, а следовательно, несколько возрастает эта масса и в воздухе основного канала. Значения  $\eta_o^{y.l}$  и  $\eta_{ц}^{y.l}$  являются расчетными. Достаточно высокое для циклона значение  $\eta_o^{y.l}$  обусловлено, во-первых, крупнофракционным составом пыли и, во-вторых, небольшим диаметром аппарата (как показано выше, в него поступает менее 5 %  $Q_{вх}$ ).

При переходе системы в режим выбега прекращается ее подпитка крупнофракционной пылью, идущей от источника, и по системе циркулирует не уловленная ранее пыль мелких фракций. Поэтому резко снижается масса пыли, выходящей из эжектора в разделитель, и происходит ее перераспределение между циклонами: примерно 91 % поступает в циркуляционный контур и только 9 % — в основной канал. В результате снижается абсолютная масса проскока пыли основного уловителя, выбрасываемая в атмосферу. Изменение фракционного состава пыли, поступающей в циркуляционный контур, виден из

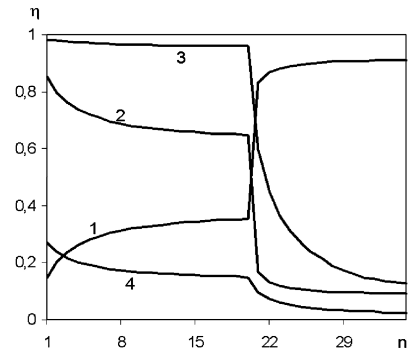


Рис.2. Динамика изменения эффективности элементов комбинированной системы очистки: 1 —  $\eta_{ц}$ ; 2 —  $\eta_o$ ; 3 —  $\eta_o^{y.l}$ ; 4 —  $\eta_{ц}^{y.l}$ .

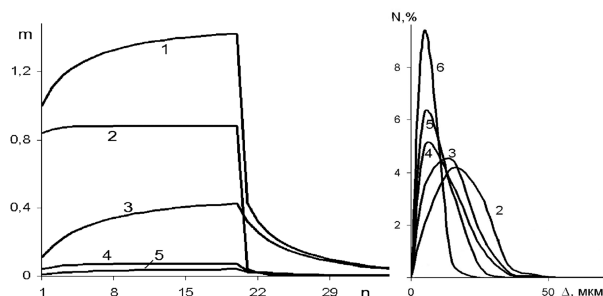


Рис.3. Динамика изменения относительных масс комбинированной системы очистки: 1 –  $M_{\text{эж}}$ ; 2 –  $M_{\text{о.ул}}$ ; 3 –  $M_{\text{ц.пр}}$ ; 4 –  $M_{\text{ц.ул}}$ ; 5 –  $M_{\text{о.пр}}$ .

Рис.4. Изменение фракционного состава пыли циркуляционного контура при разных  $n$ : 1 – 1; 2 – 5; 3 – 20; 4 – 21; 5 – 28.

рис.4. Уже после первого прохождения разделителя ДКР резко смещается в область мелких фракций, и этот процесс постепенно продолжается на протяжении всего разгонного периода. При переходе системы в режим выбега происходит второе резкое смещение ДКР в область мелких фракций. Такое же резкое смещение в режиме выбега происходит и с графиками ДКР пыли основного контура. Однако на протяжении разгонного периода графики смещаются от исходного в сторону крупных фракций.

О целесообразности использования комбинированной системы очистки можно судить на основании сравнения результатов ее работы с обычной (существующей) прямоточной системой, использующей один инерционный аппарат. Расчетная эффективность его улавливания составляет 75,5 %. Тогда при работе системы в режиме очистки (первые 20 циклов вычислений) в окружающую среду было бы выброшено 4,9  $M_3$ . Комбинированная система очистки при прочих равных условиях за 35 циклов очистки и выбега допустит выброс 0,81  $M_3$ . При этом выброс за время выбега составляет 0,17  $M_3$ , а остается в элементах системы не уловленной мелкофракционной пыли 0,04  $M_3$ . Таким образом, комбинированная система очистки обеспечивает снижение выбросов в атмосферу в 6 раз. Если, например, с помощью дросселя на время

выбега основной канал отключать, то в этом случае выброс уменьшится еще на 0,17  $M_3$  и составит 0,64  $M_3$ , что соответствует снижению выброшенной массы по сравнению с прямоточной системой в 7,7 раза (очевидно, что такая мера несколько увеличит время выбега).

Таким образом, замена обычной схемы очистки воздуха на комбинированную обеспечит многократное снижение массы выбрасываемой в атмосферу пыли. Относительным недостатком комбинированной схемы является то, что она нуждается в некотором времени на выбег. Основной канал на это время целесообразно перекрывать. Модернизация обычной схемы на комбинированную не требует значительных затрат, а ее эксплуатация не требует специальной квалификации персонала. Предложенная схема может использоваться для повышения эффективности очистки воздуха небольших объектов, установка дорогостоящих уловителей на которых либо экономически необоснована, либо невозможна по технологическим причинам.

### Список литературы

1. Справочник по пыле- и золоулавливанию / Под ред. А.А. Русанова. — М. : Энергия, 1975. — 296 с.
2. Страус В. Промышленная очистка газов. — М. : Химия, 1981. — 617 с.
3. Маслов В.Е. Пылеконцентраторы в топочной технике. — М. : Энергия, 1977. — 207 с.
4. Певнев А.О. Экспериментальное исследование распределения угольной пыли в криволинейных воздушно-пылевых потоках // Обогащение неметаллических полезных ископаемых. — Свердловск, 1976. — Вып. 2. — С. 101–105.
5. Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В. и др. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике. — СПб. : ВХВ-Петербург, 2005. — 800 с.
6. Бутенко А.Г., Смык С.Ю., Мовила Д.А. Разделение твердой фазы полидисперсного потока по фракциям в комбинированной системе очистки // Экология и пром-сть. — 2009. — Вып. 4. — С. 68–70.

Поступила в редакцию 04.02.10

## Combined System of Air Clearing

**Butenko A.G., Smyk S.Yu.**

*Odessa National Polytechnical University*

The combined system of air clearing with dust-laden flow separation in separating device on two streams – mainstream and circulating flow is proposed. The design procedure for combined system indicators calculation by the example of air clearing in chamber for building materials after old buildings dismantle grinding is adduced. The system significant dust fall reduction in comparison with ordinary clearing circuit by the calculations is displayed.

**Key words:** combined clearing system, dust catching degree.

Received February 4, 2010