



**УДК 504. 3. 054**

**А.Г. БУТЕНКО**, к.т.н., доцент, **Е.В. ОСИПЕНКО**, инженер, **А.В. СИЛИН**, специалист

Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДВУХКОНТУРНОЙ ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ГАЗА (ВОЗДУХА)**

Приведена методика расчета показателей эффективности замкнутой двухконтурной системы очистки газа. Методика учитывает изменение во времени фракционного состава запыленного потока и позволяет определять показатели как отдельных элементов системы, так и ее эффективность в целом.

**замкнутая система очистки, показатели эффективности, дифференциальная кривая распределения, секундная масса пыли, циркуляционный контур**

Для многих технологических процессов или их отдельных стадий, во время которых происходит загрязнение окружающего воздуха пылевыми частицами, может быть предложена замкнутая система очистки. Основным

ее отличием от традиционных является то, что очищенный воздух, содержащий остаточную концентрацию твердых частиц, не выбрасывается в окружающую атмосферу, а повторно поступает в систему очистки. Тем самым

исключается загрязнение окружающей природной среды твердыми микрочастицами, которые в некоторых случаях являются сырьем или продуктом производства (например, при очистке воздуха узлов перегрузки сыпучих материалов) [1, 2].

Достичь экологического и ресурсосберегающего эффекта при возможно меньших энергозатратах можно в двухконтурной замкнутой системе очистки (рис. 1). Такая двухконтурная система может быть использована, например, при очистке аспирационных газов. Загрязненный газ отбирается от источника 1 с помощью вихревого собирающего аппарата 2. Этот газ поступает в инерционный обогатитель 3, в котором делится на транзитный поток с расходом  $Q_{тр}$  и поток циркуляционного контура с расходом  $Q_{ц}$ . При этом  $Q_{ц} \ll Q_{тр}$ , а концентрация пыли –  $c_{ц} \gg c_{тр}$ . Это позволяет использовать гораздо более компактный улавливающий аппарат и, следовательно, существенно уменьшить в нем потери мощности.

Сумма секундной массы пыли (под секундной массой пыли далее понимается массовый расход пыли в газовом потоке) в транзитном потоке  $M_{тр}$  и ее массы проскока  $M_{пр}$  уловителя составляет остаточную массу пыли в очищенном потоке, который поступает на выход аппарата 2 и далее вторично захватывается в систему очистки. При этом за счет закрутки струя очищенного газа создает аэродинамическую завесу, т.е. отделяет источник загрязнения от остального пространства [3].

Эффективность системы очистки зависит от эффективности работы ее отдельных элементов, которая, в свою очередь, определяется как их конструктивными параметрами, так и свойствами запыленного потока (его фракционным составом, плотностью материала частиц, их формой).

Характерной особенностью замкнутой системы является переменная во времени концентрация находящейся в проточной части пыли и ее фракционный со-

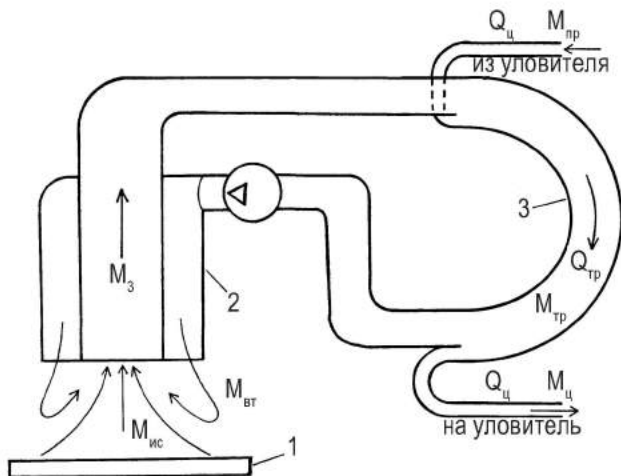


Рисунок 1 – Двухконтурная замкнутая система очистки

став. Поэтому парциальные показатели эффективности вторичного захвата вихревого аппарата  $\eta_{вт}$ , обогащения  $\eta_{об}$  и улавливания  $\eta_{ул}$  меняются во времени, и расчет эффективности системы необходимо вести с учетом этого обстоятельства.

Если известна дифференциальная кривая распределения твердых частиц в потоке, исходящем от локального источника загрязнения,  $N_{ист} = f(\Delta)$ , то по зависимостям парциальных коэффициентов эффективности первичного  $\eta_3 = f(\Delta)$  и вторичного  $\eta_{вт} = f(\Delta)$  захвата собирающего аппарата [3], обогатителя  $\eta_{об} = f(\Delta)$  [2] и улавливающего аппарата  $\eta_{ул} = f(\Delta)$  представляется возможным построить дифференциальные кривые распределения захваченной секундной массы (в процентах от секундной массы пыли источника) (рис. 2)

$$N_{3,i} = \eta_{3,i} N_{ист,i}$$

массы, ушедшей в циркуляционный контур на уловитель,

$$N_{ц,i} = \eta_{об,i} N_{3,i}$$

массы, проскочившей через уловитель,

$$N_{пр,i} = (1 - \eta_{ул,i}) N_{ц,i}$$

транзитной массы

$$N_{тр,i} = (1 - \eta_{об,i}) N_{3,i}$$

и остаточной (вторичной) массы в очищенном потоке

$$N_{вт,j} = N_{пр,i} + N_{тр,j}$$

Полный коэффициент захвата собирающего вихревого аппарата

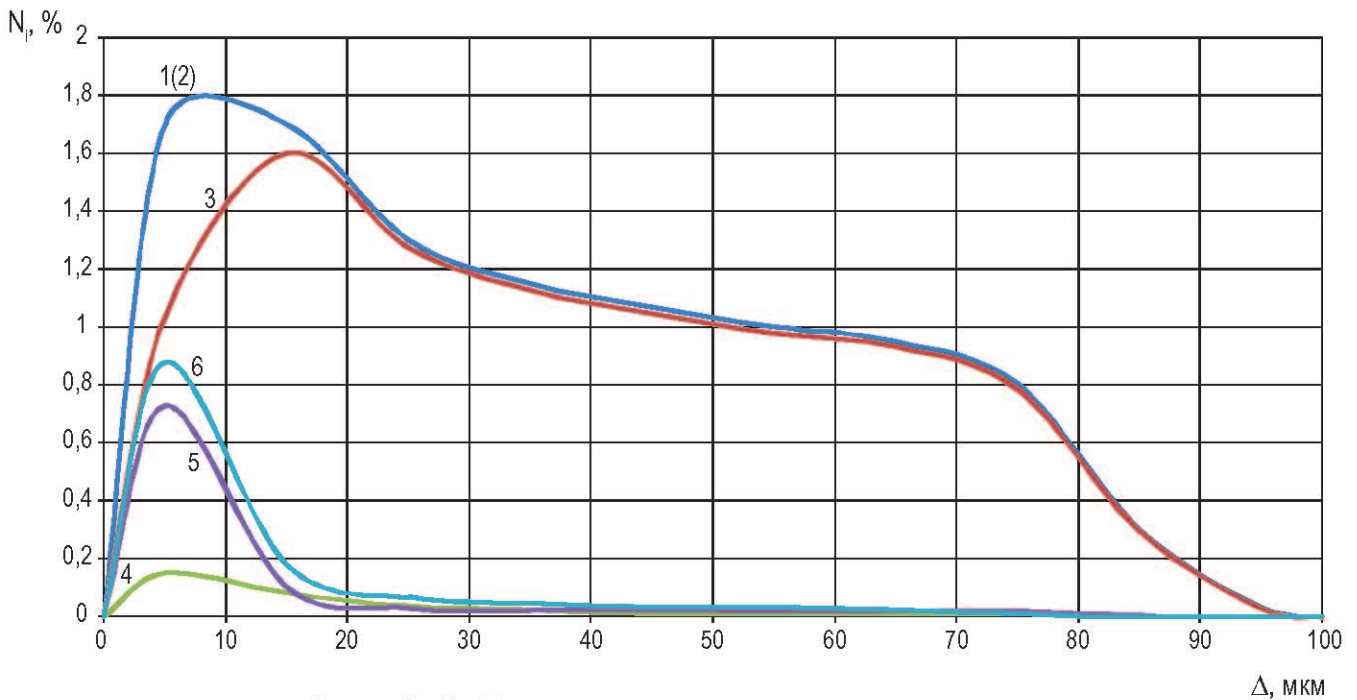
$$\eta_3 = \sum_{i=1}^m \eta_{3,i} \frac{N_{ист,i}}{100} \delta\Delta$$

где  $N_{ист,i}$  – процентное содержание частиц  $i$ -той фракции в общей массе;  $\delta\Delta$  – разность максимального и минимального размеров частиц фракции.

Секундная масса, захваченная вихревым аппаратом,

$$M_3 = M_{ист} \eta_3 + M_{вт} \eta_{вт}$$

где  $M_{ист}$  – масса пыли, исходящая от источника;  $M_{вт}$  – вторичная масса пыли, содержащаяся в очищенном потоке;  $\eta_{вт}$  – коэффициент захвата пыли из очищенного потока (вторичного захвата).



**Рисунок 2 – Дифференциальные кривые распределения массы:**

1 – распределение исходной массы ( $N_{ист}$ ); 2 – распределение захваченной массы (поскольку  $\eta_3 \approx 1$ , то кривые 1 и 2 практически совпадают) ( $N_3$ ); 3 – распределение массы, ушедшей в циркуляционный контур на уловитель ( $N_{ц}$ ); 4 – распределение массы проскока уловителя ( $N_{пр}$ ); 5 – распределение транзитной массы ( $N_{тр}$ ); 6 – распределение массы в очищенном потоке ( $N_{от}$ )

Секундная масса пыли, осевшей в помещении,

$$M_{пр} = M_{ц} - M_{ул} = M_{ц} (1 - \eta_{ул})$$

$$M_{ос} = M_{ист} (1 - \eta_3) + M_{вт} (1 - \eta_{вт}) .$$

и в очищенном потоке

$$M_{вт} = M_{пр} + M_{тр} = M_3 (1 - \eta_{об} \eta_{ул}) .$$

В инерционном обогатителе  $M_3$  делится на долю, поступающую в циркуляционный контур с уловителем,

$$M_{ц} = M_3 \eta_{об}$$

и транзитный

$$M_{тр} = M_3 - M_{ц} = M_3 (1 - \eta_{об}) ,$$

где  $\eta_{об} = \sum_{i=1}^m \eta_{об,i} \frac{N_{3,i}}{\eta_3 100} \delta \Delta$  – полный коэффициент обога-

тителя;  $N_{3,i}$  – процентное содержание частиц  $i$ -той фракции в общей массе пыли, захваченной вихревым аппаратом.

В уловителе за единицу времени осаждается масса

$$M_{ул} = M_{ц} \eta_{ул} ,$$

где  $\eta_{ул} = \sum_{i=1}^m \eta_{ул,i} \frac{N_{ц,i}}{\eta_{об} \eta_3 100} \delta \Delta$  – полный коэффициент

улавливания;  $N_{ц,i}$  – процентное содержание частиц  $i$ -той фракции в общей массе пыли, вошедшей в циркуляционный контур.

Секундные массы проскока уловителя

Первый цикл вычислений динамики показателей эффективности системы начинается с момента ее включения в работу, когда  $M_{вт} = 0$ . По его завершению может быть определена захваченная секундная масса для второй итерации  $M_3^{n=2}$  уже с учетом вторичного захвата. При этом ее дифференциальная кривая распределения

$$N_{3,i}^{n=2} = \frac{M_3^{n=1} [N_{3,i} + \eta_{вт,i} (N_{пр,i} + N_{тр,i})]}{M_3^{n=2}} .$$

Полный коэффициент вторичного захвата

$$\eta_{вт} = \frac{\sum_{i=1}^m \eta_{вт,i} N_{вт,i} \delta \Delta}{(1 - \eta_{об} \eta_{ул}) 100} .$$

Каждый последующий расчет соответствует отрезку времени

$$\Delta t = \frac{L}{v} ,$$

где  $v$  – средняя скорость течения воздуха;  $L$  – длина трубопроводов системы.

Поскольку по газоходу циркулирует переменная во времени остаточная масса пыли, то после прекращения ее выделения от источника необходимо некоторое дополнительное время работы системы, за которое накопленная пыль будет уловлена (время «выбега»).

При переходе на расчет системы с  $M_{ист} = 0$  («отключение» источника) для первой такой итерации (а всего по счету n-я итерация)

$$N_{3,i}^n = \frac{N_{вт,i} M_{вх}^{n-1}}{M_{вт}^n \eta_{вт}^n},$$

где  $M_{вх}^{n-1}$  – масса, вошедшая в систему для предыдущей итерации (последняя итерация расчета с работающим источником загрязнения).

Далее

$$N_{3,i}^n = \frac{N_{вт,i} M_{вт}^{n-1}}{M_{вт}^n \eta_{вт}^n}.$$

Концентрация пыли в потоке, вошедшем в аппарат захвата,

$$c_3 = \frac{M_{ист} \eta_3 + M_{вт} \eta_{вт}}{Q_3},$$

где  $Q_3$  – объемный расход воздуха, захваченный аппаратом ( $m^3/c$ ) в потоке циркуляционного контура (до уловителя);

$$c_{ц} = \frac{(M_{ист} \eta_3 + M_{вт} \eta_{вт}) \eta_{об}}{q Q_3},$$

где  $q = Q_{ц} / Q_3$  – доля от общего расхода, уходящая

в циркуляционный контур, определяемая геометрическими параметрами обогатителя [2], в потоке после обогатителя

$$c_{вт} = \frac{M_3 (1 - \eta_{об} \eta_{ул})}{Q_3}.$$

Приведенная последовательность расчета позволяет определять изменение показателей системы во времени. На рис. 3 в качестве примера приведены графики изменения показателей эффективности элементов системы и секундных масс пыли, отнесенных к захваченной секундной массе. Рассчитывалась очистка воздуха от пыли плотностью  $4000 \text{ кг/м}^3$ , дифференциальная кривая распределения массы которой приведена на рис. 2. В качестве уловителя рассматривался циклон Стейрманда [4]. Первые семь итераций n соответствуют работе системы в основном режиме, оставшиеся пять – «выбегу».

Из графиков видно, что во время основного режима работы при условии постоянства выбрасываемой мас-

сы пыли и ее фракционного состава происходит незначительное снижение  $\eta_{об}$  и  $\eta_{ул}$  и увеличение  $\eta_{вт}$ , которые, начиная с третьей итерации, становятся пренебрежимо малыми. Это происходит за счет накопления мелких фракций, степень обогащения и улавливания которых наименьшая. Таким образом, дифференциальная кривая распределения захваченной массы за каждый последующий расчетный промежуток времени перераспределяется в сторону увеличения доли мелких фракций. Это является причиной незначительного снижения коэффициентов отделения и улавливания, а также роста коэффициента вторичного захвата.

$$\eta_{об}, \eta_{ул}, \eta_{вт}, \frac{M_{ул}, M_{вт}, M_{ос} 10^2}{M_3, M_3, M_3}, \text{ отн. ед.}$$

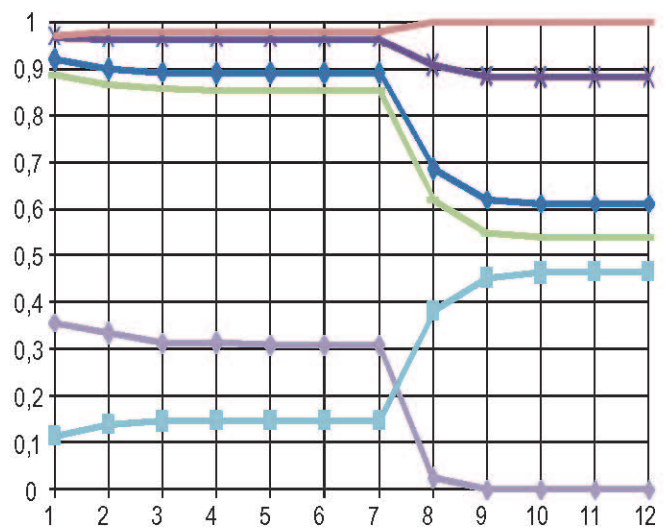


Рисунок 3 – Показатели системы очистки:

— — эффективность вторичного захвата; × — эффективность улавливания; ♦ — эффективность обогащения; — — отношение уловленной секундной массы пыли к захваченной; ♦ — отношение вторичной секундной массы пыли к захваченной; ■ — отношение увеличенной в сто раз осевшей секундной массы пыли к захваченной

При «выбеге» по системе циркулирует только ранее неуловленная, т.е. мелкофракционная пыль. Поэтому показатели  $\eta_{об}$  и  $\eta_{ул}$  резко снижаются. Тем не менее система быстро освобождается от этой пыли (абсолютное значение секундной вторичной массы резко снижается), и за два-три цикла оседающая секундная масса становится практически равной нулю.

Таким образом, по предложенной методике могут быть рассчитаны основные показатели двухконтурной замкнутой системы очистки с вихревым аппаратом захвата. Ее безусловными преимуществами является то, что, с одной стороны, исключается загрязнение окру-



жающей природной среды, а с другой – потеря улавливаемого, часто являющегося первичным или вторичным ресурсом вещества. За счет вихревого аппарата захвата источник загрязнения изолируется от остального пространства. Система менее энергозатратна по сравнению с традиционными. Реализация такой схемы очистки может быть осуществлена с использованием стандартного улавливающего оборудования, доступных материалов и без значительных капиталовложений.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бутенко, А.Г.** Разработка улавливающего устройства твердых частиц в замкнутой системе очистки [Текст] /

Наведена методика розрахунку показників ефективності замкнутої двоконтурної системи очищення газу, яка враховує зміну у часі фракційного складу запиленого потоку і дозволяє визначати показники як окремих елементів системи, так і ефективність системи у цілому.

А.Г. Бутенко, А.В. Силин // Энергетика та електрифікація. – Київ, 2007. – Вип. 3(283). – С. 29–31.

2. **Бутенко, А.Г.** Исследование гидродинамики газового потока в U-образном канале с искусственной циркуляцией [Текст] / А.Г. Бутенко, А.В. Силин // Труды Одесского политехнического университета: Научный и производственно-практический сборник по техническим и естественным наукам. – Одесса, 2006. – Вып. 2 (26). – С. 189–192.
3. **Бутенко, А.Г.** Аппарат сбора загрязненных газов в замкнутой системе очистки [Текст] / А.Г. Бутенко, Е.В. Осипенко, С.Ю. Смык // Экология и промышленность. – 2008. – № 1. – С. 47–53.
4. **Страус, В.** Промышленная очистка газов [Текст] / В. Страус // – М. : Химия, 1981. – 617 с.

*Поступила в редакцию 07.04.2008*

Technique for calculating efficiency parameters of the closed double-loop gas cleaning system is stated. The technique considers change in time of fractional composition of dusty flow and enables determining parameters both for separate elements of the system and its efficiency in whole.