

## Оценка эффективности системы пылеулавливания с одной ступенью очистки с вихревыми аппаратами и разделителем-концентратором

*Н.М. Сергина, Р.Р. Румянцев, А.Н. Курасов, М.Д. Лабутин*

*Волгоградский государственный технический университет*

**Аннотация:** В статье описывается конструктивное решение системы обеспыливания выбросов в атмосферный воздух с использованием вихревых инерционных аппаратов со встречными закрученными потоками (ВЗП) и разделителя-концентратора. Описывается подход к оценке эффективности такой системы пылеулавливания. Приводятся аналитические зависимости и блок-схема расчета эффективности системы.

**Ключевые слова:** вихревой инерционный пылеуловитель со встречными закрученными потоками (ВЗП), разделитель-концентратор, система пылеулавливания, эффективность пылеочистки.

Современное российское законодательство в области охраны окружающей среды для загрязняющих атмосферный воздух веществ устанавливает нормативы допустимых выбросов и технологические нормативы выбросов. Для их достижения в научно-технической литературе рекомендуется использование пылеулавливающего оборудования разных типов, в том числе вихревых инерционных аппаратов со встречными закрученными потоками (ВЗП) [1, 2]. В работах [3 – 5] приведены результаты теоретического изучения закономерностей процессов обеспыливания воздуха в таких аппаратах, а в работах [6, 7] представлены данные, полученные при экспериментальных исследованиях их эффективности. Материалы, приведенные в [8–10], демонстрируют опыт и перспективность использования аппаратов ВЗП в производстве строительных материалов, а также в других отраслях промышленности [1, 2] для защиты атмосферного воздуха от пылевого загрязнения.

В некоторых работах [2, 10] отмечено, что подача на нижний ввод аппарата потока с меньшим содержанием пыли или даже незапыленного воздуха [2] способствует повышению эффективности пылеочистки. Однако необходимо учитывать, что подача чистого воздуха повлечет за собой

---

повышение расхода, проходящего через пыдеуловитель потока, соответственно - возрастание скорости в аппарате и сопутствующее этому увеличение проскока пылевых частиц. Устранению этой проблемы при одновременном решении задачи повышения эффективности пылеулавливания может способствовать использование разделителя-концентратора (пылеконцентратора).

Поэтому целью исследований было повышение эффективности установок обеспыливания выбросов с аппаратами ВЗП посредством использования в этих установках пылеконцентратора. Для этого решались следующие задачи:

- разработка съемы компоновки системы пылеулавливания с аппаратами ВЗП и разделителем концентратором;
- разработка математической модели для расчетной оценки эффективности предложенной системы;
- экспериментальное определение режимных параметров предложенной системы, при которых обеспечивается минимизация выбросов пыли в атмосферу.

Разделитель-концентратор (рис. 1) представляет собой устройство, состоящее из улиточного закручивателя 1, сепарационной камеры 2, тангенциального патрубка 3 и аксиального патрубка 4. В пылеконцентраторе под действием инерционных сил происходит сепарация пылевых частиц и разделение пылевоздушного потока на два. Один из них с высокой концентрацией пыли отводится через тангенциальный патрубок, второй с малой запыленностью – через аксиальный патрубок.

Пример компоновочной схемы системы пылеулавливания с аппаратами ВЗП и разделителем-концентратором приведен на рис.2. Система с одной ступенью очистки состоит из основного аппарата ВЗП 1, для повышения эффективности которого предусмотрено:

---

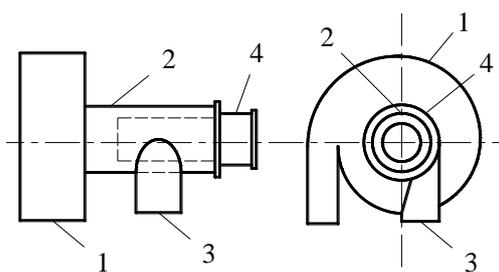


Рис. 1. – Схема пылеконцентратора

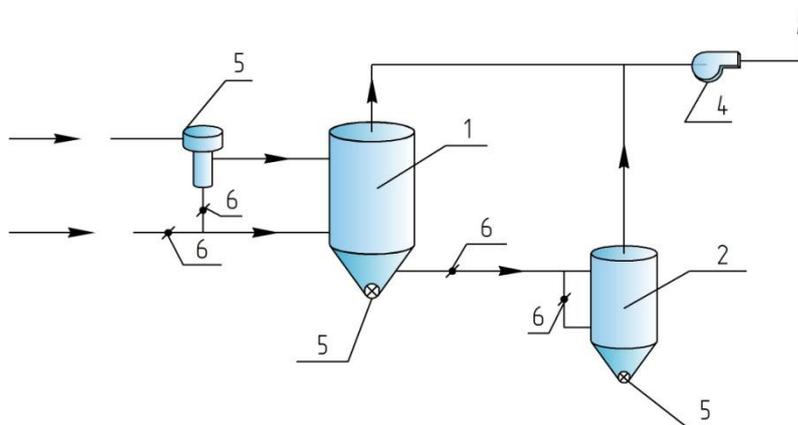


Рис. 2. – Схема системы пылеочистки с аппаратами ВЗП и пылеконцентратором

- организация отсоса из нижней зоны основного аппарата с очисткой отсасываемого пылевоздушного потока в дополнительном пылеуловителе 2;
  - установка пылеконцентратора 5, обеспечивающего снижение запыленности потока, поступающего на нижний ввод основного аппарата.
- При этом может использоваться подмешивание небольшого объема незапыленного воздуха из окружающего пространства.

Для оценки эффективности такой системы составим ее расчетную схему (рис.3).

Объем воздуха, поступающего в основной аппарат ВЗП, составит

$$L_{\text{ВХ1}}^{\text{H}} + \alpha L_0 = a(1 + \alpha)L_0 \quad (1)$$

где  $L_0$  – расход воздуха, подаваемого на очистку из системы местных отсосов, м<sup>3</sup>/ч;  $L_{\text{ВХ1}}^{\text{H}}$  – объем пылевоздушной смеси с низкой запыленностью,

подаваемой на нижний ввод основного аппарата ВЗП по аксиальному патрубку пылеконцентратора, м<sup>3</sup>/ч;  $\alpha$  - объем подсасываемого незапыленного воздуха, отнесенный к  $L_0$ ;  $a = L_{\text{ВХ1}}^H / L_0$ .

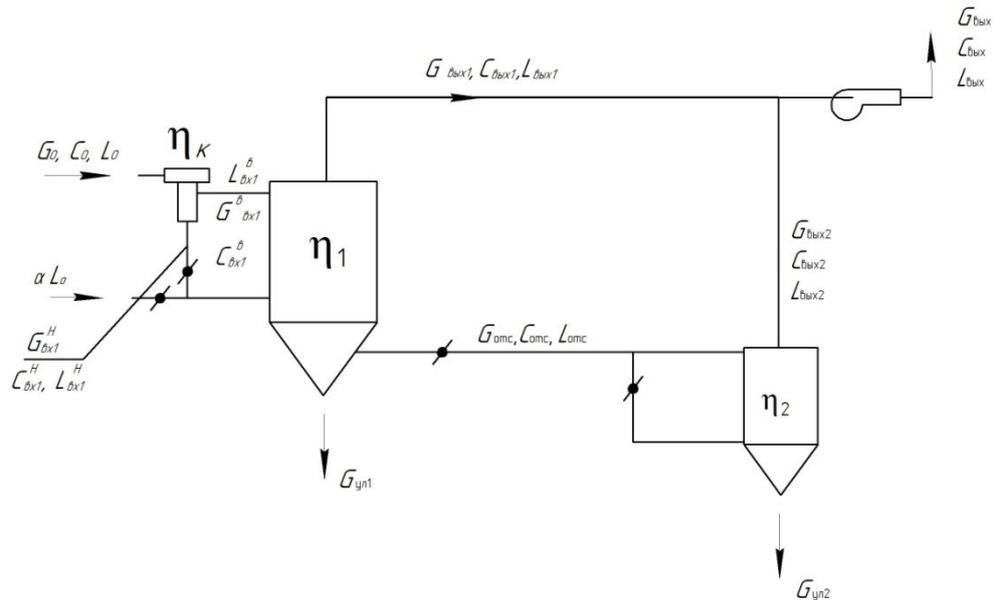


Рис. 3. – Расчетная схема системы

Составим систему балансовых уравнений, описывающих движение потоков пыли:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{G}_{\text{ул1}} + \bar{G}_{\text{вых1}} = \frac{b - \alpha\eta_K}{b - \alpha}; \\ \bar{G}_{\text{вых1}} = (1 - \eta_1) \frac{b - \alpha\eta_K}{b - \alpha}; \\ \bar{G}_{\text{ул2}} + \bar{G}_{\text{вых2}} = k \frac{b - \alpha\eta_K}{b - \alpha} \eta_1; \\ \bar{G}_{\text{вых2}} = (1 - \eta_2) \frac{b - \alpha\eta_K}{b - \alpha} k \eta_1, \end{array} \right. \quad (2)$$

где  $\eta_K$  - эффективность пылеконцентратора;  $b = a(1 + \alpha)$ ;  $\bar{G}_{\text{ул1}} = G_{\text{ул1}}/G_0$ ;  $\bar{G}_{\text{ул2}} = G_{\text{ул2}}/G_0$ ;  $\bar{G}_{\text{вых1}} = G_{\text{вых1}}/G_0$ ;  $\bar{G}_{\text{вых2}} = G_{\text{вых2}}/G_0$ ;  $G_{\text{ул1}}$ ,  $G_{\text{ул2}}$  - масса пыли, уловленной в основном и дополнительном пылеуловителях соответственно;  $G_{\text{вых1}}$ ,  $G_{\text{вых2}}$  - масса пыли в потоках, выходящих из основного и

дополнительного аппаратов ВЗП соответственно;  $G_0$  - масса пыли в потоке, поступающем на очистку из системы местных отсосов;  $k$  - коэффициент, учитывающий долю пыли, удаляемой отсасываемым потоком из нижней зоны основного пылеуловителя.

Расчетные значения параметра  $b$  приведены на рис. 4.

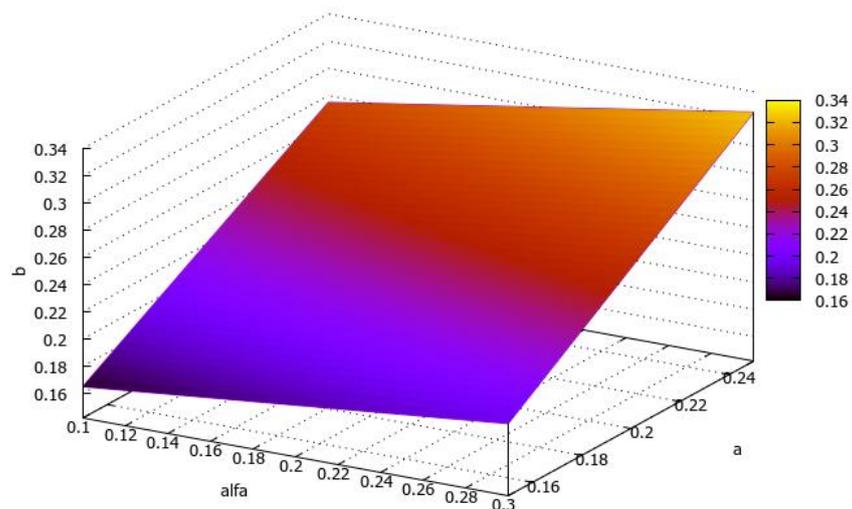


Рис. 4. – Значения параметра  $b$

При решении системы уравнений (2) получаем следующие выражения:

- для расчета эффективности системы  $\eta_{\text{сист}}$

$$\eta_{\text{сист}} = 1 - \frac{b - \alpha\eta_{\text{к}}}{b - \alpha} [(1 - \eta_1) + (1 - \eta_2)k\eta_1], \quad (3)$$

- или для расчета величины проскока  $\varepsilon_{\text{сист}}$

$$\varepsilon_{\text{сист}} = \frac{b - \alpha\eta_{\text{к}}}{b - \alpha} [\varepsilon_1 + (1 - \varepsilon_1)k\varepsilon_2] \quad (4)$$

С учетом того, что величины  $\alpha$ ,  $\eta_{\text{к}}$  и  $a$  - переменные, и задаются в процессе проектирования, расчет  $\eta_{\text{сист}}$  или  $\varepsilon_{\text{сист}}$  проводится на основе блок-схемы, представленной на рис. 5.

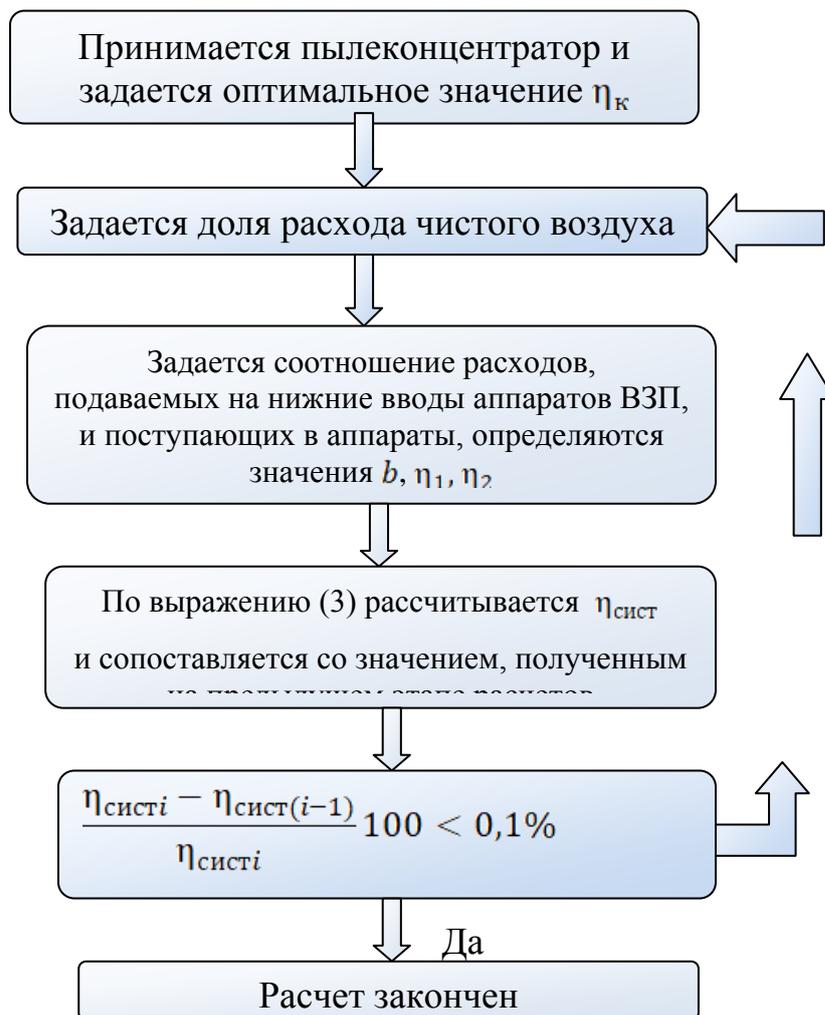


Рис.5. – Блок-схема расчета эффективности (или проскока) системы

Сопоставление выражения (3) для расчета эффективности предложенной системы с аналогичным выражением для системы без установки пылеконцентратора показало, что при использовании этого устройства  $\eta_{\text{сист}}$  изменится на величину:

$$\alpha(\eta_k - 1)bk\eta_k \quad (5)$$

Экспериментальные исследования показали, что при установке в системе разделителя-концентратора эффективность системы увеличилась с 94,7% до 96,9%. Причем такой результат достигнут при снижении доли

незапыленного воздуха, подмешиваемого к потоку, поступающему на нижний ввод основного аппарата ВЗП с 15% от  $L_0$  до 5 – 7%.

### **Выводы**

1. Предложена схема компоновки системы обеспыливания выбросов с аппаратами ВЗП, в которой для повышения эффективности пылеулавливания предусмотрена установка разделителя-концентратора, подмешивание незапыленного воздуха и организация отсоса из бункерной зоны основного пылеуловителя.

2. Получены расчетные зависимости для оценки эффективности (или проскока) предложенной системы на стадии проектирования.

3. Экспериментально установлено, что использование пылеконцентратора позволяет повысить эффективность пылеулавливания в среднем на 1,8 – 2,2%.

### **Литература**

1. Гудим Л.И. Очистка промышленных газов и воздуха от пыли. М.: МГТУ, 2010. 116 с.
2. Русак О.И., Молохов В.В. Борьба с пылью на деревообрабатывающих предприятиях. М: Лесная промышленность, 1975. 151 с.
3. Stefanenko I. V., Azarov V. N., Solovyova T.V., Kislenko T.A., Redhwan A.M. Mathematical model of dust collection process in apparatus with counter-swirling flows in aspiration systems // International Conference “Actual Issues of Mechanical Engineering” (AIME 2018). 2018/157/98.
4. Hoekstra F.J., Derksen J.I., Van Den Akker H. An experimental and numerical study of turbulent flow in gas cyclones // Chemical Engineering Science. 1999/ V. 54 (13-14). pp. 2055-2065.

5. Kharoua N., Khezzar L., Nemouchi Z. Study of the pressure drop and flow field in standard gas cyclone models using the granular model // International Journal of Chemical Engineering. 2011. V. 2011. p. 11.

6. Луканин Д.В., Гладков Е.В. Экспериментальные исследования эффективности улавливания пылеуловителей на встречных закрученных потоках // Альтернативная энергетика и экология. 2013. №12(134). С. 140-143.

7. Stefanenko I. V., Azarov V. N., Borovkov D. P. Experimental Optimization of Dust Collecting Equipment Parameters of Counter Swirling Flow with Coaxial Leadthrough for Air Ventilation System and Dust Elimination // IOP Conferences. Series: Earth and Environmental Science. 2019/224/01237/.

8. Сергина Н.М., Дружинина Д.С., Евсеева В.А., Орлов С.А. Об опыте применения пылеуловителей на встречных закрученных потоках в системах обеспыливания промышленных выбросов // Инженерный вестник Дона, 2016, №4. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2016/3791/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2016/3791/).

9. Сергина Н.М., Абдулджалил М.С.А., Абрамова Л.М. Пылеуловители со встречными закрученными потоками в системах очистки пылевых выбросов в производстве строительных материалов // Инженерный вестник Дона, 2015, №3. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2015/3218/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2015/3218/).

10. Bogomolov A. N., Sergina N. M., Kondratenko T. O. On inertial systems, dust cleaning and dust removal equipment, and work areas in the production of aerated concrete from the hopper suction apparatus CSF // Procedia Engineering. 2016. V. 150. pp. 2036-2041.

### References

1. Gudim L.I. Ochistka promyshlennyh gazov i vozduha ot pyli [Cleaning of industrial gases and air from dust]. M.: MGTU, 2010. 116 p.



2. Rusak O.I., Molochov V.V. Bor'ba s pyl'yu na derevoobrabatyvayushchih predpriyatiyah [Dust control at woodworking enterprises]. M.: Lesnaya promyshlennost', 1975. 151 p.
3. Stefanenko I. V., Azarov V. N., Solovyova T.V., Kislenko T.A., Redhwan A.M. International Conference “Actual Issues of Mechanical Engineering” (AIME 2018). 2018/157/98.
4. Hoekstra F.J., Derksen J.I., Van Den Akker H. Chemical Engineering Science. 1999/ V. 54 (13-14). pp. 2055-2065.
5. Kharoua N., Khezzar L., Nemouchi Z. International Journal of Chemical Engineering. 2011. V. 2011. p. 11.
6. Lukanin D.V., Gladkov E.V. Al'ternativnaya energetika i ekologiya. 2013. № 12(134). pp. 140-143.
7. Stefanenko I. V., Azarov V. N., Borovkov D. P. IOP Conferences. Series: Earth and Environmental Science. 2019/224/01237/.
8. Sergina N.M., Druzhinina D.S., Evseeva V.A., Orlov S.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, №4. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2016/3791/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2016/3791/).
9. Sergina N.M., Abduldzhilil M.S.A., Abramova L.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2015, №3. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2015/3218/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2015/3218/).
10. Bogomolov A. N., Sergina N. M., Kondratenko T. O. Procedia Engineering. 2016. V. 150. pp. 2036-2041.