



**БАХОДИРОВА М.Т., ҚУРБОНОВ Д., БАДАЛОВ А.А., ЖУРАЕВ Р.Р.,  
БЕКТУРДИЕВ Г.К., МАХАМАТЖАНОВ М.А.**

<sup>1</sup>Ташкентский государственный технический университет им. И. Каримова,  
Ташкент, Узбекистан

<sup>2</sup>Научный центр Узпахтасаноат, Ташкент, Узбекистан

<sup>3</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**BAXODIROVA M.T., KURBONOV D., BADALOV A.A., JURAYEV R.R.,  
BEKTURDIYEV G.K., MAHAMATJANOV M.A.**

<sup>1</sup>Tashkent state technical university named after Islam Karimov, Tashkent, Uzbekistan

<sup>2</sup>Scientific center Uzpakhtasanoat, Tashkent, Uzbekistan

<sup>3</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

badalov\_a@yahoo.com

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПОТЕРИ ДАВЛЕНИЯ В АППАРАТАХ С ЗАКРУЧЕННЫМИ ПОТОКАМИ**

### **EFFICIENCY AND PRESSURE LOSS IN APPARATUS WITH SWIRLING FLOW**

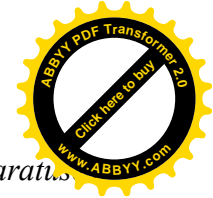
*Карам-каришы чимирилге агымдагы газдарды чандан тазартуу принцибине негизделип иштейтруган аппарат сунушталган. Газдын чимирилген агымындагы чанды кармап калуучу аппараттын ишдтөө принциби сүрөттөлгөн. Бөлүкчөлөрдү өлчөмүнө карата бөлүштүрүүнү дифференциалдуу ийри сызыгы келтирилген. Эксперименттик изилдөөлөрдү жүргүзүүнүн ирети берилген. Тазалоо жумушуна жана натыйжалуулукка таасир этүүчү факторлор аныкталган. Эсептеги жана эксперименттеги натыйжаларды салыштыруу чандае тазалоочу аппараттын практикалык жактан баалуулугун көрсөтөт. Жасалган материалына жараша чимирилген агымдагы чан дан тазалоочу аппараттын басымын эсептөө методу каралган.*

**Өзөк сөздөр:** чаң, бөлүкчөл, чимирилге агым, натыйжалуулук, чаңдагандык, жоготуу, басым.

*Предложен аппарат, работающий по принципу очистки газа от пыли во встречных закрученных потоках. Описана принцип работы пылеулавливающего аппарата с закрученными потоками газовзвесы. Приведена дифференциальная кривая распределения частиц по размерам. Описано порядок проведения экспериментальных исследований. Приведены исследования эффективности улавливания и по определению потерь давления в аппаратах с закрученными потоками. Выявлены факторы влияющие на работу и эффективности очистки. Приведены результаты численного расчета эффективности улавливания частиц различного диаметра в аппарате ВЗП-200. Сравнение расчетных и экспериментальных результатов показывает практическую приемлемость принятой движения газовой и твердой фазы в пылеуловителях со встречными закрученными потоками. Рассмотрен метод расчета давления в аппаратах с закрученными потоками в зависимости от различных материалов.*

**Ключевые слова:** пыль, частица, закрученные потоки, эффективность, запыленность, потери, давление.

*An apparatus is proposed that operates on the principle of gas purification from dust in counter swirling flows. The principle of operation of a dust collecting apparatus with swirling flows of gas suspensions is described. A differential particle size distribution curve is*



given. Studies of the efficiency of capture and determination of pressure losses in apparatuses with swirling flows are given. The factors influencing the work and cleaning efficiency are revealed. The results of a numerical calculation of the efficiency of trapping particles of various diameters in the VZP-200 apparatus are presented. Comparison of the calculated and experimental results shows the practical acceptability of the accepted movement of the gas and solid phases in dust collectors with counter swirling flows. A method for calculating the pressure in apparatuses with swirling flows is considered depending on various materials.

**Key words:** dust, particle, swirling flows, efficiency, dustiness, losses, pressures.

**Введение.** Многие технологические процессы связаны с дроблением, измельчением и транспортированием сыпучих дисперсных материалов. При этом часть обрабатываемых материалов неизбежно переходит в аэрозольное состояние, образуя пыль, которая с технологическими или вентиляционными газами выбрасывается в атмосферу [1].

Для исключения возможности взрыва аэрозольной пыли в помещении, улучшения условий труда рабочих и уменьшения потерь мелкой части ценного продукта необходимо на выходе вытесняемого воздуха установить аппарат для сепарации частиц или после технологической установки конечной стадии обработки. Такой аппарат, работающий по принципу сухой очистки газа от пыли во встречных закрученных потоках, применен сотрудниками Ташкентского государственного технического университета в химическом цехе на асфальтобетонном заводе марки D-597 А и Тельтомат с производительностью по асфальту 80 т/ч.

Правильное определение влияния факторов на эффективность пылеулавливания является важнейшей задачей для проектирования пылеуловителей с закрученными потоками, их выбора и разработки инженерной методики расчета, а также для перехода от лабораторных установок к промышленным (задачи масштабного перехода).

**Цель и задачи исследования:**

- определение эффективности пылеулавливания аппарата с закрученными потоками;
- определение потери давления в аппарате с закрученными потоками.

**Методика:** Исследование эффективности улавливания и по определению потерь давления проводилось по следующей методике. Устанавливался режим работы аппарата, устанавливался суммарный расход и соотношение расходов потока по каналам. Скорость потока воздуха измерялась при помощи пневматической трубки в выходном патрубке. Отбор проб осуществлялся через пробы отборную трубку НИИОГАЗ, соединенную с аллонжем, в котором был фильтр АФА-ВП-20. Продолжительность экспериментов регистрировалась секундомером и на каждом режиме составляла 3-5 минут. Для каждого режима проводилось по 4 опыта.

Эксперименты проводились на холодной модели в холостом режиме – для чистой газовой фазы и при наличии частиц материала. Общая нагрузка по газовой фазе через аппарат составляла  $Q_{\max} = 2000 \text{ м}^3/\text{ч}$ , что соответствует скорости 7,43 м/с. Уменьшение эффективности улавливания при снижении нагрузки по запыленному воздуху можно объяснить снижением крутки (т.е. снижается уровень тангенциальной скорости следовательно, уменьшается центробежная сила, действующая на частицы пыли).

После выхода аппарата на стационарный режим, замеряли перепады давления в каналах аппарата с помощью импульсных трубок, соединенных с микроманометрами ММН- 240 и

Статическое давление потоков контролировалось микроманометрами ММН-240.

Эксперименты по определению потерь давления определялись на газовой фазе. Не наблюдалось влияния запыленности на перепад давления или наблюдалось незначительное влияния запыленности на потери давления в аппарате.

В зависимости от природы сил, используемых в пылеулавливающих аппаратах для отделения частиц пыли от газового потока, их подразделяют на четыре основные группы пылесадительные камеры и циклоны, аппараты мокрой очистки газов, пористые фильтры, электрические фильтры [5].

При выборе оптимальной конструкции аппарат для улавливания частиц ацетата целлюлозы из удаляемого воздуха был определен гранулометрический состав уносимого материала. Из дифференциальной кривой распределения частиц ацетата целлюлозы по размерам (рис. 1.) видно, что в уносимом материале более 70 % (масс.) фракций имеют размер частиц менее 45 мкм, причем значительную часть составляют фракции с размером частиц 10—30 мкм.

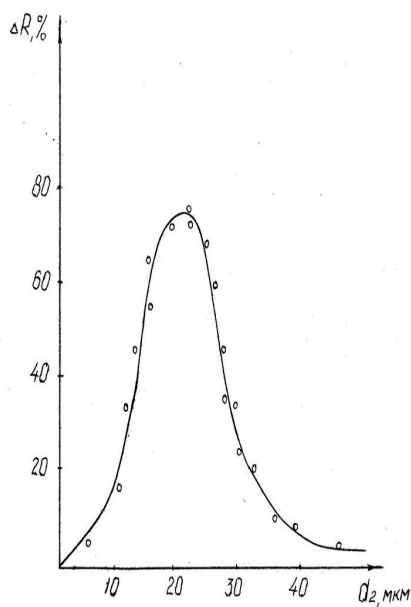


Рис. 1. Дифференциальная кривая распределения частиц по размерам.

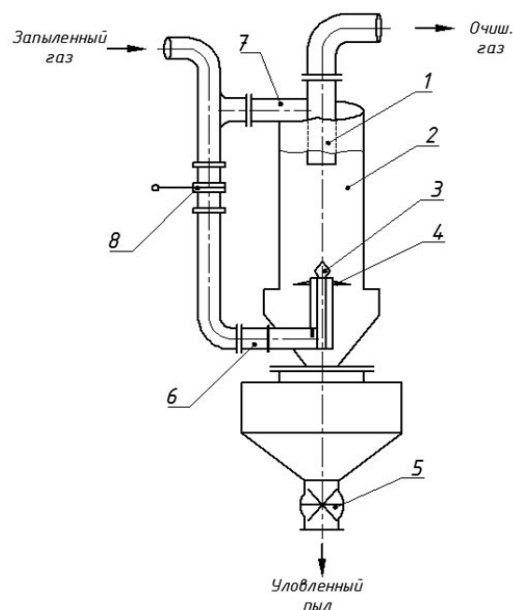


Рис. 2. Пылеуловитель со встречными закрученными потоками теплоносителя ВЗП: 1 — выхлопная труба; 2 — рабочая камера; 3 — завихритель; 4 — отбойная шайба; 5 — выгрузочное устройство; 6 — тангенциальная газоподводящая труба первого потока газозвеси; 7 — тангенциальный ввод газов второго потока; 8 — шибер (для установления расходов запыленного газа по вводам).

Аппарат отличается простотой конструкции, компактностью, удобством в эксплуатации, высокой эффективностью улавливания частиц ацетата целлюлозы (99,7 % при запыленности воздуха от 3 до 25 г/м<sup>3</sup>) и непрерывностью процесса [5]. Основным отличием вихревых пылеуловителей от циклонов является наличие вспомогательного закручивающего газового потока [5,6].

Принцип работы аппарата со встречными закрученными потоками (рис. 2) следующий. Аппарат представляет собой вертикальную цилиндрическую камеру 2, в нижнюю часть которой по трубе 6 подводится первый поток пылегазовой смеси, закручиваемый лопастным завихрителем 3 с вытеснителем, предотвращающим проскок материала по центральной части камеры. На трубе ввода первичного потока ниже завихрителя укреплен отбойная шайба 4. Второй поток газозвеси вводится тангенциально в верхнюю часть камеры 7. Отработанный в аппарате очищенный газ выводится через выхлопную трубу 1, расположенную в верхней части аппарата. Запыленный газ подавался в аппарат с обоими потоками газозвеси одновременно по



газоподводящей трубам. Для установления расходов запыленного газа по вводам общей газоподводящей трубе установлен шибер 8. Уловленный материал выводится из нижней камеры через выгрузное устройство 5. Аппарат заземлен, что обеспечивает отвод статического электричества.

Отсутствие движущихся частей в аппарате исключает образование теплового импульса, способствующего возникновению взрыва. Эти условия обеспечивают безопасность работы аппарата. Потери давления в аппарате диаметром 80 и высот 300 мм не превышают 690 Па [8-10].

Важнейшей характеристикой любого пылеулавливающего устройство является эффективность пылеулавливания. Как известно, общая эффективность улавливания аппарата зависит от дисперсного состава пыли.

На эффективность пылеулавливания влияет целый ряд факторов: конструктивное исполнение аппарата, режимные характеристики, физико-механические свойства пыли (дисперсный состав, плотность, концентрация в потоке, форма, слипаемость, смачиваемость, химический состав, абразивность и др.). Правильное определение влияния всех этих факторов является важнейшей задачей для проектирования пылеуловителей, их выбора и разработки инженерной методики расчета, а также для перехода от лабораторных установок к промышленным (задачи масштабного перехода).

Общая нагрузка по газовой фазе через аппарат ВЗП составляла  $Q_{\text{max}} = 2000 \text{ м}^3/\text{ч}$ , что соответствует скорости 7,43 м/с. Уменьшение эффективности улавливания при снижении нагрузки по запыленному воздуху можно объяснить снижением крутки (т.е. снижается уровень тангенциальной скорости, следовательно, уменьшается центробежная сила, действующая на частицы пыли).

В аппарате полностью улавливались частицы размером менее 10 мкм, практически не улавливаемые циклонными пылеуловителями.

В табл. 1 приведены результаты численного расчета эффективности улавливания частиц различного диаметра в аппарате ВЗП-200. Сравнение расчетных и экспериментальных результатов показывает практическую приемлемость принятой математической модели движения газовой и твердой фазы в пылеуловителях со встречными закрученными потоками.

Эта методика расчета применялась при выборе, расчете и проектировании пылеулавливающих систем на базе аппаратов со встречными закрученными потоками.

Пример численного расчета эффективности улавливания в аппарате ВЗП - 200,  $Q_1 + Q_2 = 0.211 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $\rho_4 = 4250 \text{ кг/м}^3$ ;  $\sigma = 2,04$ .

Таблица 1 - результаты численного расчета эффективности улавливания частиц различного диаметра в аппарате ВЗП-200

$d_{\text{ч}}$ мкм	$K =$	$\eta_{\text{расчетн}}$	$\eta_{\text{эксп}}$ (%)
4,0		94,27	95,6
4,5		96,54	97,0
5,0		97,71	98,2
5,5	0,8	98,01	98,7
6,0		98,75	99,3
7,0		99,12	99,65
8,0		100	99,92



10,0		100	100
12,0		100	100
15,0		100	100

Соотношение расходов воздушных потоков по каналам оказывает существенное влияние на эффективность пылеулавливания, с увеличением отношения расходов эффективность пылеулавливания увеличивается. Повышение эффективности пылеулавливания с увеличением отношения потоков объясняется влиянием вторичного потока воздуха на тангенциальную составляющую скорости, которая оказывает определяющее влияние на центробежную силу, которая действует на частицы пыли. Однако дальнейшее увеличение тангенциальной составляющей не приводит к увеличению эффективности улавливания. Кроме того, чрезмерная перегрузка пылеуловителя [11,12] по газовой фазе ведет к увеличению турбулизации течения, что ведет к вторичному уносу и снижению эффективности пылеулавливания.

По перепадам давления известны следующие причины: потери давления во входной трубе вследствие трения; потери, обусловленные расширением или сжатием газа на входе; потери в аппарате вследствие трения о стенки; потери кинетической энергии в аппарате; потери на входе в выходную трубу; гидростатический напор между входной и выходной трубой; рекуперация энергии в выходной трубе [1-7].

В аппаратах с закрученными потоками газозвеси потери давления в значительной степени зависят от геометрических характеристик аппаратов, плотности газа, скорости газа в подводящих и выхлопных патрубках и концентрации материалов в газовом потоке. Тогда перепад давления в зависимости от скорости на входе  $w_i$  и безразмерного коэффициента гидродинамического сопротивления  $\xi$ , который в данном случае выражает величину потерь, запишется в виде:

$$\Delta P = \xi \frac{\rho w_i^2}{2g} \quad (1)$$

Рассмотрим потери давления в вихревых безуносных аппаратах [6]. Особенности конструкции вихревого безуносного сушильного аппарата (наличие трех подводящих и одного выхлопного патрубка), не позволяет проводить непосредственное измерение давлений в каждом патрубке аппарата. Однако, исходя из этих измерений можно рассчитать общий (эквивалентный) перепад давления в аппарате.

Получим зависимость для определения  $\Delta P_0$  в случае, когда температура теплоносителя по каналам аппарата одинакова ( $\rho_{r1} = \rho_{r2} = \rho_{r3}$ )

$$\Delta P_0 = \frac{P_1 L_1 + P_2 L_2}{L_0} + \frac{\rho_r}{2L_0} \left( \frac{L_1^3}{S_1} + \frac{L_2^3}{S_2} + \frac{L_3^3}{S_3} \right) - P_3 \quad (2)$$

где  $S_1, S_2, S_3$  – площади подводящих и выхлопных патрубков аппарата.

**Результаты.** Представлены распределения частиц ацетата целлюлозы по размерам через дифференциальной кривой распределения частиц. Из графика видно, что в уносимом материале более 70 % (масс.) фракций имеют размер частиц менее 45 мкм, причем значительную часть составляют фракции с размером частиц 10—30 мкм. Также представлены кривые эффективности улавливания частиц ацетата целлюлозы аппаратом со встречными закрученными потоками по отношению расхода воздуха.

Нами проведены в промышленных условиях испытания аппарата со встречными закрученными потоками в режиме улавливания волокнистой пыли ацетата целлюлозы. Эффективность улавливания волокон целлюлозы с минимальным диаметром 5 и длиной 15 мкм составила в среднем 99,3%. За счет ввода в аппарат жидкости можно повысить эффективность улавливания волокнистой пыли до 100 %.

Общие потери давления в аппарате  $\Delta P$  находилась по зависимости (2).



В работе [11,12,13,14] представляется, что с ростом запыленности до 18 г/м<sup>3</sup> происходит небольшое увеличение эффективности улавливания, а затем почти до  $C = 0,5$  кг/ м<sup>3</sup> значение  $\eta$  остается постоянной. Схожие результаты, с небольшими отклонениями, наблюдались в проводимых экспериментах.

Представлены результаты исследования зависимости потерь давления в аппарате от расхода воздуха.

**Выводы.** В вихревом пылеуловителе не наблюдается износа внутренних стенок аппарата и аппарат более компактен, чем другие пылеуловители, предназначенные для сухой очистки выбросов.

Вихревые пылеуловители имеют наиболее эффективность улавливания тонкодисперсной пыли и их применение оправдывается при улавливании пыли с большим содержанием мелкой фракции.

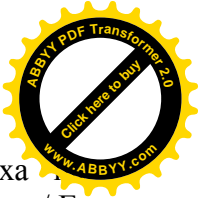
Применение усовершенствованных конструкций пылеуловителей позволит снизить энергетические затраты на проведение процессов очистки газов и повысить эффективность улавливания твердых частиц.

Полученные экспериментальные результаты по потерям давления позволяют вести расчет потерь напора для промышленных вихревых аппаратов при проектировании.

Таким образом, простой в изготовлении аппарат встречными закрученными потоками позволяет значительно сократить выбросы в атмосферу и вернуть в производство значительное количество ценного материала.

### Список литературы

1. Сажин Б.С. Охрана труда в текстильной промышленности [Текст] / Б.С.Сажин, О.С.Кочетов, А.М. Елин, М.В.Чунаев. – М.: МГТУ им. Косыгина А.Н., 2004. - 433 с.
2. Рязов А.Н. Технология производства химических волокон [Текст] / А.Н. Рязов. – М.: Химия, 1980, 448 с.
3. Блиничева И.Б. Физика и химия волокнообразующих полимеров [Текст] Под ред. проф. Б.Н. Мельникова. — Иваново, ИГХТУ, 2005. — 376 с.
4. Сугак А. Центробежные пылеуловители и классификаторы. Моделирование, расчет, проектирование [Текст] / А. Сугак, Е. Сугак. – Ярославль: ЯГТУ, 2012. - 19 с.
5. Процессы и аппараты пылеочистки [Текст] / Ветошкин А. Г. – Пенза, 2005. – 210 с.
6. Мисуля Д.И. Сравнительный анализ технических характеристик циклонных пылеуловителей [Текст] / Д.И. Мисуля, В.В. Кузмин, Д.А. Марков // Труды БГТУ. - Химия и технология неорганических веществ. - 2012. - № 3: С. 154-163.
7. Кочетов О.С., Кочетов М.О., Ходокова Т.Д. Вихревой пылеуловитель. Патент на изобретение RUS2256487. 15.06.2004.
8. Пылеуловители со встречными закрученными потоками [Текст] / НИИ ТЭХИМ // Сост. Б.С.Сажин, Л.И. Гудим. - М.: 1982.
9. Сажин Б.С. Пылеуловители со встречными закрученными потоками [Текст] / Б.С.Сажин, Л.И.Гудим // Химическая промышленность. - 1985. - №8. - С. 50-54.
10. Василевский М.В. Обеспыливание газов инерционными аппаратами: монография [Текст] / М.В. Василевский. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 258 с.
11. Щелоков Я. М. Повышение эффективности циклонных аппаратов [Текст] / Я. М. Щелоков // Промышленная энергетика. - 2008. - № 8. - С. 44
12. Карпов С. В. Высокоэффективные циклонные устройства для очистки и теплового использования газовых выбросов [Текст] / С. В. Карпов, Э. Н. Сабуров. - Архангельск: Изд-во Архангельского гос. техн. ун-та, 2002. – 59 с.



13. Штокман Е. А. Вентиляция, кондиционирование и очистка воздуха в предприятиях пищевой промышленности [Текст]: учеб. пособие для студентов ВУЗов / Е. А. Штокман. – М.: Изд-во АСВ, 2007. - 632 с.