

высота,  $R$  – радиус цилиндра. В общем случае величины  $f_1$ ,  $n$  не постоянны.

Как следует из приведенных зависимостей, показателем связности может являться величина отношения изменения величины выталкивающей силы к изменению величины уплотнения.

#### Список литературы:

1. Андрианов Е.И. Методы определения структурно-механических характеристик порошкообразных материалов. М.: Metallurgia, 1982. 256 с.
2. Зимон А.Д., Андрианов Е.И. Аутогезия сыпучих материалов. М.: Metallurgia, 1978. 288 с.
3. Справочник по пыле- и золоулавливанию // Под ред. М.И. Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков и др. Под общей ред. А.А. Русанова – 2 изд. М.: Энергоатомиздат, 1983. 312 с.
4. Зенков Р.Л. Механика насыпных грузов. М.: Недра, 1964. 251 с.

УДК 533.6:931.928.3

## **МЕТОД ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ В УСТАНОВКАХ ПНЕВМОТРАНСПОРТА**

Василевский М.В., к.т.н., Разва А.С., к.т.н., Киреев А.В.

Томский политехнический университет

E-mail: [razva@mail.ru](mailto:razva@mail.ru)

Пневмотранспорт тонкодисперсных материалов используется почти во всех отраслях промышленности. В приемном узле транспортирующий поток освобождается от материала и направляется на доочистку. Чаще всего для окончательной очистки используют фильтры. Однако они не надежны: либо разрушаются, либо забиваются и создают большое противодействие в системе, нарушающее работу транспортной линии.

В июле 2002 г. нами было проведено обследование приемного узла цемента пневмотранспортной линии бетоно-смесительного узла завода ЖБИ-27 с целью определения аэродинамических характеристик, эффективности осаждения цемента и проектирования газоочистой установки (ГОУ) в случае возникновения такой необходимости. На заводах ЖБИ отработана схема устойчивой транспортировки и выделения цемента из потока, в которой часть потока в приемном узле проходит в бункер накопитель, в этом случае цемент не зависает в разгрузителе. Поэтому в приемном узле имелось два патрубка вывода отработанного воздуха: из верхней части разгрузителя  $d=70$  мм и из бункера накопителя  $d=120$  мм. Из этих патрубков воздух с неосевшей пылью выходил в атмосферу через рукава (на высотах 20...23 м).

Визуальные наблюдения показали, что в рабочих режимах транспортирования потоки с пылью из патрубков выходят периодически с невысокой концентрацией. Перерывы между выбросами составляли 5...15 сек. Длительность выбросов (с невысокой скоростью) также находилась в этих пределах. В редких случаях наблюдались более продолжительные выбросы с более высокой концентрацией частиц. Выбросы резко возрастали при переполнении бункера – накопителя. Производительность пневмотранспортной линии колеблется в пределах 10...20 т/час (2800-5600 г/с). В период опорожнения силосов расход воздуха увеличивается, и транспортировка цемента происходит в аэрозольном виде.

Были проведены замеры давлений в разгрузителе, бункере – накопителе, а также был проведен отбор проб с использованием циклончика типа СК-ЦН-34  $d=90$  мм и рукавного фильтра после него. Пыль собиралась в стеклянный приемник под циклоном и в рукавном фильтре. Давления в разгрузителе и бункере – накопителе колебались в пределах 20...120 мм в.ст. (0,2-1,2 кПа). Расход воздуха через циклончик определялся по известному гидравлическому сопротивлению и давлению на входе. Взвешивалась пыль в приемнике циклончика и привес рукавного фильтра после циклончика. Проводился микроскопический анализ уловленной пыли.

Исходный материал – цемент марки М 400; для него медианный диаметр частиц  $\delta_m = 20...23$  мкм, дисперсия  $\sigma = 3$  [1, 2]. Такой цемент в циклоне СК-ЦН-34 диаметром 300 мм в стационарных условиях улавливается с эффективностью 96,5...97,5 %. Циклончик диаметром  $d=90$  мм, что использовали для отбора проб, должен был иметь еще более высокую эффективность. Однако при отборе проб обнаружилось, что его эффективность не превышает 40 %. Микроскопический анализ уловленной пыли показал, что диаметр частиц не превышает 1 мкм. Поскольку содержание частиц менее 1 мкм в исходном цементе составляет менее 0,5 % можно сделать вывод: в циклончик поступала пыль после ее вторичного образования в разгрузителе или бункере-накопителе, а на вход в разгрузитель поступали поршни из частиц, что характерно для подобного вида пневмотранспорта тонкодисперсного материала [3]. Наблюдения за работой пневмотранспортной линии показало, что цемент движется поршнями, причем длина поршня составляет 5...20 м, и на вход в разгрузитель поступают поршни весом 50...200 кг, т.е. реализуется беспылевой транспорт. Однако в момент переполнения бункера – накопителя выброс увеличивается в сотни и тысячи раз. Также проис-

ходит повышенный выброс в случае нарушения пробкового режима, когда реализуется транспорт с повышенным расходом воздуха.

Поэтому было решено выполнить ГОУ с комбинацией циклонов и фильтрующих приемников с элементами для регулировки потоков в приемники. За основу была взята аэродинамическая схема циклона, которая была отработана в сублиматном производстве СХК, и на основе которой были выполнены реконструкции с заменой металлокерамических фильтров на циклоны [4].

Циклоны ГОУ соединены с фильтрующими приемниками, у которых фильтрующая поверхность составляла более  $6 \text{ м}^2$ , т.е. соответствовала нормальной фильтрации всего воздуха, поступающего в ГОУ. Емкость объемов приемников позволяли накапливать в них цемент в количестве 1,4 т (1400 кг).

Оказалось, что в открытом положении при нормальном поршневом режиме пневмотранспорта циклоны выполняют роль эффективных уловителей пыли, которые реагируют на изменение режима транспортировки: если режим отклоняется от поршневого, в циклоны поступает пыль, близкая по фракционному составу к исходной, она собирается в приемниках. Наблюдения показали, что заполнение фильтрующих приемников цементом все же случается. При этом ГОУ выполняет полезную функцию, поскольку уже предотвратила выброс нескольких тонн цемента.

В закрытом положении работа ГОУ осуществляется пропуском отработанного воздуха в фильтрующие приемники. В этом случае фильтры приемника работают в облегченных условиях, поскольку в них поступает пыль из циклонов в виде жгутов. Однако требуется встряхивание фильтров один раз в смену после закачки цемента в бункер – накопитель.

Наши оценки показывают, что потери цемента в открытом положении запорного элемента циклона в транспортной линии составляют не более 1,5-2,0 кг/сутки, тогда как без ГОУ они составляют десятки килограмм. Предполагается провести работы по регулированию режимов работы ГОУ, ее оптимизации, оформлению инструкции по эксплуатации с целью обеспечения стабилизации работы пневмотранспорта и дальнейшего снижения выбросов.

#### Список литературы:

1. Циклоны НИИОГАЗ. Руководящие указания по проектированию, изготовлению, монтажу и эксплуатации. Ярославль, 1971. – 95 с.

2. Справочник по пыли- и золоулавливанию / Под. ред. М.И. Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков и др. Под общей ред. А.А. Русанова. – 2 изд. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
3. Руководящие технические материалы. Пневмотранспорт сыпучих материалов МХП СССР, Томск, 1987. – 188 с.
4. Василевский М.В., Никульчиков В.К., Анисимов Ж.А., Ледовских А.К., Сохареv В.Г. Применение циклонных пылеуловителей в производстве радиоактивных материалов. // Фундаментальные и прикладные проблемы охраны окружающей среды: Докл. Международной конф. – Томск: Изд-во Томского университета, 1995. – Т.3. – С. 312

УДК 66.067.1

## ХАРАКТЕРИСТИКИ СОСТОЯНИЯ ДИСПЕРСНОЙ СРЕДЫ НА ФИЛЬТРУЮЩЕЙ ПОДЛОЖКЕ

Василевский М.В., к.т.н., Разва А.С., к.т.н., Саттаров У.С.

Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: razva@mail.ru

В процессе фильтрации газа через пористую перегородку осажденная пыль находится в агломерированном состоянии. Уплотнение слоя при накоплении частиц связано с переформированием агрегатов. Уравнение Козени - Кармана отражает связь между скоростью фильтрации,

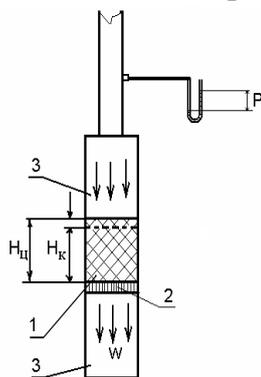


Рис.1 Устройство для определения параметров дисперсного материала: 1 – рабочая секция, 2 – фильтр, 3 – вспомогательные секции.

пористостью слоя, перепадом давления, удельной поверхностью частиц в слое, толщиной слоя. Удельная поверхность частиц в слое является неизвестной величиной, поэтому предлагается ее определять из соотношения Козени - Кармана по полученным из эксперимента всем другим величинам.

Процесс фильтрования в экспериментальной установке проводят на заранее сформированных сжимаемых слоях из частиц различной крупности. При этом фиксируется скорость фильтрации, изменение пористости, перепад давления, толщина слоя. Полагается, что величина удельной поверхности частиц остается неизменной при осуществлении процессов фильтрации в аналогичных условиях производства.

В системах газоочистки фильтрация газа через слой частиц является самым эффективным средством обеспыливания газов. В качестве обеспыливателей применяют гибкие перегородки из тканей, металлических сеток. Процесс обеспыливания газа осуществляется в сформиро-