

А.М. ГОЛЬШЕВ, д-р техн. наук, проф., Т.В. ДЕНЬГУБ, магистр
Криворожский национальный университет

ОСОБЕННОСТИ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АСПИРАЦИОННЫХ СИСТЕМ И СПОСОБЫ ЕЕ ПОВЫШЕНИЯ

Локализация вредных выбросов и очистка запыленного воздуха при работе горноперерабатывающих предприятий осуществляется при помощи аспирации. На ее работу расходуется около 15% от энергетических затрат на привод технологического оборудования. В процессе эксплуатации аспирационных систем возникает необходимость изменять их режим работы применительно к изменению работы оборудования и с целью снижения энергетических затрат.

Методом математического моделирования исследованы аэродинамические характеристики аспирационных систем, которые выполнены по схеме элементов сети «местный отсос – магистральный воздуховод – пылеулавливающие аппараты – вентилятор» и по схеме «местный отсос – пылеулавливающий аппарат – магистральный воздуховод – вентилятор». Установлено, что аспирационные системы, выполненные по первому варианту компоновки элементов сети эффективно работают только в проектном режиме и не допускают изменения количества местных отсосов в процессе их эксплуатации. Уменьшение или добавление количества местных отсосов приводит к отложению пыли в магистральном воздуховоде в первом случае, либо к истечению запыленного воздуха из аспирационных укрытий.

Аспирационные системы, выполненные по второй схеме компоновки элементов сети обладают более высокой аэродинамической устойчивостью. При уменьшении количества местных отсосов по сравнению с проектным режимом (например, при части неработающих технологических агрегатов) возможно уменьшение мощности привода вентилятора, т.к. в магистральный воздуховод будет поступать очищенный от пыли воздух. Увеличение по сравнению с проектом местных отсосов вместе с пылеулавливающими аппаратами существенно не изменяет аэродинамическую характеристику аспирационной сети и обеспечивается надёжная локализация вредных примесей в укрытиях оборудования.

Таким образом, методом математического моделирования доказаны преимущества аспирационных систем, выполненных по схеме «местный отсос – пылеулавливающий аппарат – магистральный воздуховод – вентилятор» как более аэродинамически устойчивых и энергетически целесообразных.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Аспирационные системы предприятий перерабатывающих горнорудное сырьё, предназначены для обеспечения нормальных санитарно-гигиенических условий на рабочих местах в производственных цехах и уменьшения выбросов минеральных пылей в окружающую среду [1,2]. Для эффективной работы аспирационных систем по локализации источников пыления, транспортирования запыленного воздуха к пылеочистным аппаратам и очистки воздуха от пыли необходимо около 15% от общей энергетической мощности приводов механизмов технологических процессов переработки и обогащения горного сырья [3,7]. Поэтому вопрос снижения энергетических затрат при работе аспирационных систем с одновременным обеспечением необходимой эффективности её работы в настоящее время имеет немаловажное значение. Уменьшение энергетических затрат на работу аспирационных систем возможно при анализе её аэродинамических характеристик и выборе таких вариантов компоновки конструктивных элементов, при которых возможно снижение мощностей приводов побудителей тяги в аспирационных сетях [5,6].

Изложение материала и результаты. Одним из важных параметров, позволяющих оценить аэродинамические свойства аспирационных систем, является её аэродинамическая устойчивость Y

$$Y = Q/Q_n, \quad (1)$$

где Q – объемный расход запыленного воздуха, удаляемого от технологического оборудования при изменении проектного режима работы системы, $\text{м}^3/\text{с}$; Q_n – проектная производительность аспирационной системы, $\text{м}^3/\text{с}$.

Изменения проектного режима работы аспирационных систем могут быть вызваны:

a - отложением пыли в магистральном воздуховоде или в ответвлениях трубопровода к местным отсосам;

b - увеличением или уменьшением количества местных отсосов по сравнению с проектным решением;

v - изменением аэродинамических характеристик побудителя тяги (вентилятора);

z - изменением системы очистки аспирационного воздуха от пыли [9,7].

Однако, как показывает опыт эксплуатации аспирационных систем, наиболее распространенными случаями нарушения проектного режима аспирационных систем является изменение количества местных отсосов (пункт б) без надлежащего изменения мощности привода вентилятора. Нарушение конструкции сети приводит к отложению пыли либо в ответвлениях трубопроводов к местным отсосам, либо в магистральном воздуховоде. В случае, когда производится изменение в системе очистки воздуха от пыли (пункт з), как правило, производится перепроектирование аспирационной системы с заменой побудителя тяги (пункт в).

Таким образом, наиболее типичным случаем нарушения проектного аэродинамического режима аспирационных систем является изменение количества местных отсосов с сохранением неизменной мощности привода побудителя тяги. Закономерность изменения аэродинамического режима возможно изучить при помощи показателя аэродинамической устойчивости U [8,9,10]. Однако общая зависимость в виде отношения (1) не дает возможности исследовать ее изменения в зависимости от конструктивных особенностей аспирационной сети. В связи с этим параметры Q и Q_n нами определялись согласно зависимостям

$$Q = \left[\frac{p}{\left(\sum_{i=1}^k [R_{oi} + R_m] \right)} \right]^{0,5}, \quad (2)$$

$$Q_n = \left[\frac{p}{\left(\sum_{i=1}^n [R_{oi} + R_m] \right)} \right]^{0,5}, \quad (3)$$

где p - давление (разрежение) в конце магистрального воздуховода перед входом воздуха в пылеочистные аппараты, Па; R_m - характеристика аэродинамического сопротивления магистрального воздуховода, кг/м⁷; $\sum_{i=1}^k R_{oi}$, $\sum_{i=1}^n R_{oi}$ - суммарные характеристики сопротивления ответвлений с местными отсосами в непроектом и проектом режиме, соответственно, кг/м⁷; k, n - конечное количество местных отсосов.

Так как давление p в магистральном воздуховоде при неизменной мощности вентилятора практически не изменяется, то зависимость (1) с учетом значений Q и Q_n по формулам (2) и (3) примет вид

$$U = \left[\frac{\left(\sum_{i=1}^n R_{oi} + R_m \right)}{\left(\sum_{i=1}^k R_{oi} + R_m \right)} \right]^{0,5} \quad (4)$$

При одинаковых количествах местных отсосов $k=n$ аэродинамическая устойчивость аспирационной системы не изменится и будет равна $U=1$, т.е. остается проектной. Однако, при $k \neq n$ показатель устойчивости будет изменяться по сравнению с проектным режимом работы системы.

По своим конструктивным особенностям аспирационные системы могут иметь различные схемы присоединения воздухопроводов с местными отсосами к магистральному воздуховоду:

по коллекторной схеме;

к расширяющемуся магистральному воздуховоду;

иметь один или несколько сборных воздухопроводов. Поэтому каждая конкретная аспирационная система требует отдельного исследования в зависимости от её конструктивной схемы. Однако для всех них будут общие закономерности изменения показателя устойчивости, отличающиеся друг от друга на незначительные значения. Для получения таких наиболее общих закономерностей нами проведены следующие исследования.

Институтом ВНИИБТГ при участии профессоров А.М. Голышева, И.Н. Логачева, О.Д. Минко, Н.И. Швидкого и др. проведены многочисленные исследования аэродинамических свойств аспирационных систем горно-обогатительных комбинатов (ГОК) [2,7]. Согласно этим исследованиям аспирационных системы ГОКов характеризуются следующими параметрами. Длина сборного магистрального воздуховода колеблется в интервалах 10-50 м при потере в них давления 100-500 Па для коллекторной схемы подключения местных отсосов. Длина отводов с местными отсосами колеблется в пределе 3-10 м при потере давления в 300-500 Па; сопротивление аппаратов первой стадии очистки (циклонов типа ЦН, УЦ) - 600-1300 Па. Скорость движения воздуха во всех аспирационных трубопроводах принимается равной ≈ 20 м/с. При известных объёмных расходах воздуха Q , через элементы аспирационной сети его аэродинамическая характеристика сопротивления рассчитывается по формуле

$$R_3 = p_3 / Q_3^2, \quad (5)$$

где p_3 – потеря давления при прохождении воздуха через конструкцию элемента, Па.

Проведено математическое моделирование аэродинамического режима аспирационной сети имеющей $n=10$ запроектированных местных отсосов с расходом $Q_{o,i}=20 \text{ м}^3/\text{с}$ в каждом с потерей давления $p_{o,i}=400 \text{ Па}$ ($R_{o,i}=1000 \text{ кг/м}^7$); сопротивление коллекторного сборного трубопровода $p_m=300 \text{ Па}$ ($R_m=0,75 \text{ кг/м}^3$ при $Q_m=20 \text{ м}^3/\text{с}$). При параллельном подключении k отводов с местными отсосами к магистральному воздухопроводу их характеристика общего сопротивления будет равна

$$\sum_{i=1}^n R_{oi} = \frac{R_{o,i}}{k^2} = \frac{100}{k^2}, \quad (6)$$

а группы циклонов

$$\sum_{i=1}^n R_{ui} = \frac{R_{u,i}}{k^2} = 300/k^2, \quad (7)$$

Вначале был исследован характер изменения устойчивости аспирационной сети, состоящей из k местных отсосов, магистрального воздухопровода и группы циклонов, установленных перед вентилятором. Устойчивость Y_c аспирационной сети на основании зависимостей (4), (6), (7) в конечном виде будет определяться формулой

$$Y_c = (k/n)[(R_{oi}+R_{ui}+n^2R_m)/(R_{oi}+k^2R_m+R_{ui}k^2/n^2)]^{0,5}, \quad (8)$$

При значениях $n=10$; $R_{oi}=100 \text{ кг/м}^3$, $R_{ui}=300 \text{ кг/м}^3$; $R_m=0,75 \text{ кг/м}^3$ выражение (8) будет иметь численное значение

$$Y_c = 2,18k/(100+3,75k^2)^{0,5}. \quad (9)$$

Аэродинамическая устойчивость каждого ответвления с местным отсосом определяется общей формулой

$$Y_o = [(R_{oi}+R_{ui}+n^2R_m)/(R_{oi}+k^2R_m+R_{ui}k^2/n^2)]^{0,5}, \quad (10)$$

которая при вышеупомянутых значениях принимает вид

$$Y_o = 21,8/(100+3,75k^2)^{0,5}. \quad (11)$$

Таблица 1

Результаты расчетов аэродинамической устойчивости аспирационной системы, местных отсосов и расходов воздуха (общепринятая компоновка сети)

k	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Y_c	0,78	0,85	0,91	0,95	0,98	1,00	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06
Y_o	1,56	1,42	1,30	1,19	1,09	1,00	0,93	0,86	0,80	0,75	0,71
$Q_c(k), \text{ м}^3/\text{с}$	15,6	17,0	18,2	19,0	19,6	20,0	20,4	20,6	20,8	21,0	21,2
$Q_o(k), \text{ м}^3/\text{с}$	3,12	2,83	2,60	2,38	2,18	2,00	1,85	1,72	1,60	1,50	1,41

В случае, если пылеулавливающие циклоны будут установлены не перед вентилятором, а после местных отсосов на ответвлениях, то аэродинамическая устойчивость Y'_c видоизмененной сети определяется по формуле

$$Y'_c = (k/n)[(R_{oi}+R_{ui}+n^2R_m)/(R_{oi}+k^2R_m+R_{ui}k^2)]^{0,5}, \quad (12)$$

а каждого местного отсоса Y'_o рассчитывается по зависимости

$$Y'_o = [(R_{oi}+R_{ui}+n^2R_m)/(R_{oi}+k^2R_m+R_{ui}k^2)]^{0,5}, \quad (13)$$

При подстановке вышеупомянутых значений, формулы (12) и (13) принимают вид

$$Y'_c = 2,18k/(400+0,75k^2)^{0,5}, \quad (14)$$

$$Y'_o = 21,8/(400+3,75k^2)^{0,5}. \quad (15)$$

В табл. 2 представлены значения расчетов значений аэродинамической устойчивости Y'_c , Y'_o , а также расходов воздуха $Q'_c(k)$ через сеть и каждый местный отсос - $Q'_o(k)$.

Таблица 2

Результаты расчетов параметров Y'_c , Y'_o , расходов воздуха $Q'_c(k)$ и $Q'_o(k)$ при изменённой компоновке элементов аспирационной сети

k	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Y'_c	0,53	0,63	0,73	0,82	0,91	1,00	1,08	1,16	1,23	1,30	1,37
Y'_o	1,06	1,05	1,04	1,02	1,01	1,00	0,98	0,97	0,95	0,93	0,91
$Q'_c(k), \text{ м}^3/\text{с}$	10,6	12,6	14,6	16,4	18,2	20,0	21,6	23,2	24,6	26,0	27,4
$Q'_o(k), \text{ м}^3/\text{с}$	2,12	2,10	2,08	2,05	2,02	2,00	1,96	1,93	1,89	1,86	1,83

Изменяемое значение k (число местных отсосов), приведенное в табл. 1,2, характеризует уменьшение (отключение в процессе эксплуатации) местных отсосов при $k<10$ по сравнению с

проектным выполнением аспирационной системы. Увеличение значения $k > 10$, наоборот, добавление в процессе эксплуатации дополнительных местных отсосов по сравнению с проектным выполнением системы. Различная компоновка конструктивных элементов аспирационной системы так же влияет на аэродинамический режим ее работы.

Для общепринятой компоновки элементов сети в изменении аэродинамических характеристик системы наблюдается следующие закономерности (см. табл. 1).

1. При уменьшении количества местных отсосов $k < n = 10$, производительность аспирационных систем уменьшается, а местных отсосов, наоборот, увеличивается. В таком случае в магистральном воздуховоде возможно отложение пыли в следствии уменьшения скорости воздуха, а местные отсосы будут работать с неоправданно избыточной мощностью.

2. В случае увеличения (добавления) местных отсосов аспирационная система работает практически в проектном режиме. Однако производительность местных отсосов падает, что чревато снижением изолирующих свойств укрытий и «выбиванию» из них пыли.

Для расположения конструктивных элементов сети по схеме «местный отсос – циклон – коллектор – вентилятор» имеют место следующие закономерности (см. табл. 2).

1а. С изменением количества местных отсосов, отличного от проектного исполнения системы, производительность аспирационной сети автоматически изменяется до надлежащего значения ($Q_k'(k) = kQ_{on}$ где Q_{on} – проектная производительность одного местного отсоса). В меньшей степени изменяется (в пределах $\pm 10\%$) объемные расходы воздуха через местные отсосы, т.е. их работа обеспечивает требуемую надёжность укрытия очага пыления.

2а. Уменьшение производительности аспирационной сети ниже проектной (при $k < n = 10$) и, соответственно, снижение скорости воздуха в коллекторной магистрали, не вызывает отложение пыли в коллекторе, так как запыленный воздух от местного отсоса будет уже очищен в пылеулавливающем аппарате.

В ряде случаев аспирационная система обслуживает две параллельные технологические линии переработки горного сырья. В силу определенных причин одна из них может находиться в состоянии простоя. При общепринятой компоновке элементов аспирационной сети отключение неработающих местных отсосов невозможно, так как в коллекторном воздуховоде возможно отложение пыли. Для предотвращения этого нежелательного явления аспирационная система вынуждена работать на полную мощность даже при части неработающего оборудования, что в энергетическом плане является нецелесообразным.

При компоновке элементов сети по схеме «местный отсос - циклон - коллектор» при отключении части местных отсосов и снижении скорости воздуха в коллекторе исключается отложение в нём пыли, т.к. воздух оказывается очищен от грубодисперсных частиц пыли. Одновременно существует возможность автоматически снизить мощность привода вентилятора, что позволяет существенно экономить электроэнергию при сохранении необходимой эффективности работы аспирационной системы.

Выводы и направления дальнейших исследований. Таким образом, проведенные исследования позволяют сформулировать следующие выводы.

Разработана математическая модель, позволяющая изучать аэродинамические свойства аспирационных систем с учетом схемы компоновки составляющих элементов аспирационной сети.

Аспирационные системы, сети которых выполнены по схеме «местный отсос – магистральный воздуховод - пылеулавливающий аппарат - вентилятор» оправдывают свою энергетическую и пылеулавливающую эффективность лишь при строгом соблюдении их проектных условий эксплуатации, т.к. регулирование их аэродинамических характеристик требует определенного перепроектирования.

Установлено, что аспирационные сети составленные по схеме «местный отсос – пылеулавливающий аппарат – магистральный воздуховод - вентилятор» обладают большей аэродинамической устойчивостью, чем сети традиционной компоновки. При этом они позволяют экономить электроэнергию привода вентилятора при технологической остановке части оборудования.

Список литературы

1. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» - К.: 1992 – 8с.

2. Улучшение условий труда на горно-обогатительных комбинатах / С.А.Стежко, А.К. Елисеев, А.П.Янов и пр. – М.: Недра, 1990. – 170с.:ил.
3. Пирумов А.И. Обеспыление воздуха – М.: Стройиздат, 1998.-296с.
4. Гольшев А.М., Задорожний С.И., Герасимчук А.В. Контроль процесса пылеосаждения в воздуховодах аспирационных систем// Вісник Криворізького технічного університету; зб. наук. пр. – Вип. 22. – Кривий Ріг: КТУ, 2008.-с. 184-188.
5. Голишев О.М., Деньгуб Т.В. Причины аэродинамического розрегулювання місцевих відсмоктувачів аспіраційних систем фабрик ГЗК. – Кривий Ріг: Вісник КТУ. зб. наук. пр. – Вип. 25. – Кривий Ріг: КТУ, 2010.-с. 94-96.
6. Желтобрюхов В.Ф., Боровиков Д.П. Анализ причин забивания систем аспирации строительной отрасли // Научн.-практич. конфер. «Проблемы охраны производственной и окружающей среды» - Волгоград. 2001. С 84-87.
7. Логачев И.Н., Логачев К.И. Аэродинамические основы аспирации. С.-Пб.: Химиздат, 2005.-659с.
8. Минко В.А., Киреев В.М. Разработка аспирационных укрытий и инженерной методики их расчёта/ Безопасность труда в промышленности.-2013.-№2.-С: 42-46.
9. Справочник по расчётам гидравлических и вентиляционных систем/ Под ред. А.С.Юрьева// АНО НПО «Мир и семья» 2001. 1115 с., илл.
10. К. Logachev, А. Puzanok, I. Logachev. The prediction of dispersed composition in local ventilating exhaust// CD-proceeding of the 8th RENVA World Congress Clima 2005 lp.

Рукопись поступила в редакцию 27.03.15

УДК 622.457: 621.926.2

М.В. АНДРЕЙЧИКОВ, аспірант, Криворізький національний університет

ІННОВАЦІЙНІ РОЗРОБКИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУХОГО ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ ЗА ДОПОМОГОЮ УЛЬТРАЗВУКУ

Статтю присвячено питанню ефективності пилопригнічення. Був проведений аналіз рудникової атмосфери при дробуванні сировини. Розроблена модель фільтра «Циклон», який оснащений ультроразвуковим генератором. Низька ефективність аспіраційних систем підприємств зв'язана не тільки з експлуатаційними причинами: порушенням технології, абразивним зношенням, злипанням пилу, але й з недосконалістю апаратів очищення повітря.

Враховуючи технологічну недосконалість засобів пиловловлювання, невисоку ефективність їх роботи при подрібненні сировини, внаслідок чого концентрації пилу і шкідливих газів на робочих місцях у більшості випадків перевищують допустимі величини, що призводить до розвитку пилового бронхіту і силікозу у робітників, метою наукової роботи є зменшення змісту шкідливих домішок в атмосфері робочої зони при подрібненні сировини до нормативних величин за регламентований проміжок часу шляхом пригнічення пилових викидів. Як відомо фільтр «Циклон» достатньо ефективний в уловлюванні крупнодиспертного пилу, але мало ефективний у уловлюванні дрібнодисперсного пилу. Для збільшення ефективності осадження дрібнодисперсного пилу в «Циклоні» необхідно збільшити масу частинок пилу, тобто скоагулювати частини. Інтенсифікація процесу коагуляції пилу та збільшення ефективності її уловлювання досягається тим, що на частинки пилу діє ультразвукове випромінювання.

Ультразвукова коагуляція являє собою процес зближення і укрупнення, зважених в газі або рідині дрібних твердих часток, рідких крапельок і газових бульбашок під дією акустичних коливань звукових або ультразвукових частот. Швидкість коагуляції, тобто ефективність процесу очищення промислових газів від дисперсних домішок з допомогою накладення ультразвукових коливань високої інтенсивності визначаються: інтенсивністю коливань, часом експозиції, частотою, вихідною концентрацією. Усе це дозволяє констатувати, що за допомогою розробленого пиловловлювача при транспортуванні, дробуванні й скиданні сировини створені нормальні санітарно-гігієнічні умови праці за пиловим чинником, які повністю виключають виникнення у робітників пневмоконіозу.

Ключові слова: гірниче підприємство, пневмоконіоз, пиловловлювачі.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Низька ефективність аспіраційних систем підприємств зв'язана не тільки з експлуатаційними причинами: порушенням технології, абразивним зношенням, злипанням пилу, але й з недосконалістю апаратів очищення повітря.

Стабілізація та економічний підйом гірничо-металургійного комплексу України потребує пошуку нових ефективних рішень по збільшенню видобутку, переробки та реалізації мінеральної сировини в умовах жорсткої ринкової конкуренції.

Успішне рішення цих задач неможливо без виконання заходів соціального розвитку регіонів, покращення умов та безпечності праці. Не дивлячись на зниження загальної кількості професійних захворювань та травматизму за роки економічних реформ, їх рівень у залізорудній промисловості залишається високим. По даним інституту промислової медицини найбільш високий рівень професійних захворювань у робочих шахтах Кривбасу пиловим бронхітом, близь-