



Рис. 2. Принципиальная схема крышного кондиционера марки DM

В кондиционерах малой мощности может отсутствовать смесительная камера с жалюзийными заслонками. В этом случае смешение производится в подающем воздуховоде. Из смесительной камеры кондиционера воздух проходит через фильтр и подается к теплообменнику (испарителю или конденсатору) холодильной машины, где он охлаждается.

Для подогрева воздуха в кондиционер встроен дополнительный газовый нагреватель. После теплообменников воздух с требуемыми параметрами подается центробежным вентилятором в систему распределительных воздухопроводов. Воздух для охлаждения конденсатора холодильного цикла забирается из атмосферы специальным встроенным вентилятором, а затем выбрасывается в атмосферу.

Вывод: применение систем воздушного отопления, совмещенных с вентиляцией и кондиционированием, на базе крышных кондиционеров является эффективным техническим решением для обеспечения оптимальных параметров микроклимата в помещениях автоцентров и обладает рядом технико-экономических преимуществ перед традиционным использованием тепловой энергии, подаваемой из систем централизованного теплоснабжения:

- установка таких крышных кондиционеров экономически более выгодна (т.к. не требуется прокладка теплопроводов от магистральных тепловых сетей до индивидуального теплового пункта проектируемого здания и установка самого теплового пункта);

- такие установки кондиционирования воздуха могут совместно работать также с системами отопления вентиляции;

- возможность гибкого регулирования компенсации тепловых потерь в зависимости от температуры наружного воздуха.

#### Список литературы

1. Системы вентиляции и кондиционирования: учеб. пособие / В.А. Ананьев, Л.Н. Балуева, А.Д. Гальперин [и др.] // М.: Евроклимат, Изд-во «Арина», 2000. -416 с.
2. Невский, В.В. Тепло-холодоснабжение отопительно-вентиляционных установок // М.: ООО «Данфосс», 2009.
3. Пырков, В.В. Гидравлическое регулирование систем отопления и охлаждения // Киев: Такі справи, 2005
4. Еремкин А. И. Тепловой режим зданий // М.: АСВ, 2001. -368 с. Елистратова Ю.В., Семенов А.С., Минко В.А. Сравнительные критерии систем отопления // в сборнике: Энергосбережение и экология в жилищно-коммунальном хозяйстве и строительстве городов: изд-во БГТУ, 2012. С. 237-239.

Комплексное проектирование установок центрального водяного отопления зданий жилищно-гражданского назначения. В.А. Минко,

Б.Ф. Подпорин, А.С. Семенов. // Белгород: изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009 г. 184 с.

#### СНИЖЕНИЕ ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ ПЕРЕГРУЗКАХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Пономаренко В.В., Евко Д.В., Алифанова А.И.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород,  
e-mail: tgv.bel@gmail.com

Большинство дробильных фабрик горно-обогатительных предприятий построены еще в третьей четверти 20-го века. За это время системы обеспыливающей вентиляции устарели морально и физически. Основной составляющей комплекса систем обеспыливания являются системы аспирации.

Одним из основных элементов системы аспирации является укрытие источника пылевыведения. Вопросы совершенствования конструкций, параметров работы, методик расчета и подбора под определенный технологический процесс аспирационного укрытия на сегодняшний день является актуальными.

Сегодня главным вектором в вопросе развития аспирационных укрытий является минимизация энергозатрат процесса, т.е. снижение объемов удаляемого воздуха от источника пылевыведения.

В основе расчета объемов удаляемого воздуха лежит уравнение воздушного баланса. Количество удаляемого из укрытия воздуха ( $Q_a$ ) при изотермических условиях равно количеству воздуха, поступающего в это укрытие по желобам и через открытые рабочие проемы и неплотности [1-3]:

$$Q_a = \sum_{i=1}^n Q_{\text{жс}} + \sum_{j=1}^m Q_{\text{н}}, \quad (1)$$

Количество воздуха, поступающего через неплотности укрытия

$$Q_{\text{н}} = 0,65 F_{\text{н}} \sqrt{\frac{2P_{\text{г}}}{\rho}}, \quad (2)$$

где  $P_{\text{г}}$  – разрежение в укрытии или технологическом оборудовании;  $F_{\text{н}}$  – площадь неплотностей;  $\rho$  – плотность воздуха.

Как видим, расход воздуха через неплотности укрытия находится в зависимости от их площади

и разрежения в укрытии. Следовательно, при заданной величине разрежения, уменьшение площади неплотностей является наиболее эффективным способом снижения  $Q_{в}$ . Естественно, полностью устранить неплотности невозможно, однако, разработанные в последнее время аспирационные укрытия, позволяют свести их к минимуму.

Существенной составляющей объемов аспирации является величина  $Q_{ж}$ , особенно в тех случаях, когда технологическое оборудование обладает вентилирующей способностью.

В настоящее время известно два способа количественной оценки эжектирующей способности потока материала: первый основан на решении уравнения сохранения энергии, второй – на интегрировании уравнения динамики.

Энергетический способ решения, предложенный впервые Бутаковым С.Е., а за рубежом Хемеоном, состоит в том, что материал при падении теряет часть своей энергии на преодоление силы сопротивления среды. Эта энергия идет на вовлечение воздуха в движение, преодоление местного сопротивления и трения в желобе [1-3].

В основе второго, динамического подхода к решению задачи об эжекции воздуха материалом в закрытых желобах, лежит учет аэродинамического взаимодействия частиц падающего материала и воздуха.

В работах О.Д. Нейкова и И.Н. Логачева, В.А. Минко перемещение воздуха по желобу под действием эжекции сыпучим материалом рассматривается как движение воздуха в каналах с определенной гидравлической характеристикой под действием перепада давления. В общем случае при перегрузке ненагретых сыпучих материалов объемы воздуха, поступающие по желобу в нижнее укрытие, составят

$$Q_{жс} = F \sqrt{\frac{P_{э} \pm P_{об} + \Delta P_{у}}{0,5\rho \sum \xi}} \quad (3)$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения желоба;  $\sum \xi$  – сумма коэффициентов местного сопротивления (КМС) желоба и укрытия;  $P_{об}$  – давление, развиваемое рабочими органами аспирационного оборудования;  $\Delta P_{у}$  – разность давлений, обусловленная действием местного отсоса (разрежение в укрытии  $P_{у}$ );  $P_{э}$  – эжекционное давление.

Эжекционное давление является функцией коэффициента лобового сопротивления частиц материала, объемной концентрации материала, среднего диаметра частиц, расхода материала и его плотности, относительной скорости движения воздуха и материала в желобе, зависящих от высоты и угла падения материала.

Большинство из перечисленных параметров являются либо неуправляемыми (плотность воздуха и материала, дисперсный состав материала, форма частиц и т.п.), либо малоуправляемыми в производственных условиях (разрежение в укрытии, высота падения материала, угол наклона желоба, площадь сечения желоба и т.п.).

Единственным параметром, позволяющим снизить объемы аспирации в производственных условиях, является увеличение гидравлического сопротивления системы «верхнее укрытие, желоб и нижнее укрытие», по которому движется эжектируемый поток воздуха.

Гидравлическое сопротивление указанной системы обуславливается суммарным КМС, вычисляемым по формуле

$$\sum \xi = \xi_{вн} + \xi_{жс} + \xi_{нн}, \quad (4)$$

где  $\xi_{вн}$ ,  $\xi_{жс}$ ,  $\xi_{нн}$  – КМС соответственно верхнего укрытия (падающего конвейера), желоба и нижнего укрытия (принимающего конвейера), отнесенные к скорости воздуха в желобе.

Вопросу совершенствования нижнего укрытия в направлении повышения коэффициента местного сопротивления укрытия посвящены работы Минко В.А., Логачева И.Н., Овсянникова Ю.Г., Кулешова М.И., Абрамкина Н.Г., Лапина О.Ф., Логачева К.И. и др. [1, 2, 6, 8, 9, 16]. Разработано множество конструкций укрытий использующих различные способы, сводящиеся к установке на пути движения эжектируемого потока воздуха различные механические препятствия (перегородки, цепи, зигзагообразные пластины и т. п.), некоторые из которых, помимо повышения КМС укрытия также могут выполнять функции пылеосадительных элементов.

Развитие компьютерной техники позволяет более широко применять методы вычислительного моделирования при разработке современных аспирационных укрытий позволяющих с высокой эффективностью осуществлять локализацию источников пылевыделения [4, 5, 8, 9, 12-15].

Проанализировав современные направления в разработке и эксплуатации методов и средств обеспыливания, можно выделить три основных направления снижения пылевых выбросов при перегрузках сыпучих материалов: снижение концентрации пыли в аспирационном воздухе [4-10, 12-13]; уменьшение объемов воздуха [1, 2, 6, 12, 13-14], отсасываемого из аспирационных укрытий; эффективная пылеочистка аспирационного воздуха [2].

**Список литературы**

1. Логачев, И.Н. Энергосбережение в аспирации: монография / К.И. Логачев, О.А. Аверкова. – Москва–Ижевск: РХД, 2013. – 504 с.
2. Овсянников, Ю.Г. Аспирационные системы с принудительной рециркуляцией: монография / Ю.Г. Овсянников, А.И. Алифанова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. – 137 с.
3. Гольцов, А.Б. Расчет объемов аспирации при переработке руды. Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2005. – N.12. – С. 19-21.
4. Logachev, I.N. and K.I. Logachev, 2014. Industrial air quality and ventilation: controlling dust emissions. Boca Raton: CRC Press, pp: 417.
5. Logachev I.N., Logachev K.I., Seminenko A.S. Basic equations of particle dynamics in silo type hoppers during pneumatic charging // Modern scientific research and their practical application, Vol.J11404, 2014. ISSN 2227-6920
6. Гольцов, А.Б. Аспирационное укрытие мест загрузки ленточных конвейеров в производстве силикатного кирпича: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13: защищена 25.12.13/ Гольцов Александр Борисович. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. – 178 с.
7. Расчет и разработка аспирационных укрытий мест перегрузок / А.Б. Гольцов, В.М. Киреев, В.А. Минко // Вестник БГТУ. – Белгород. – 2010.
8. Feoktistov, A. Yu. Design of aspiration shelters for constricted conditions / A.Y. Feoktistov, S.V. Staroverov, A.B. Gol'tsov, V.M. Kireev // Chemical and Petroleum Engineering July 2013, Volume 49, Issue 3-4, pp 261-264.
9. Гольцов, А.Б. Исследование конструкции аспирационного укрытия для применения в стесненных условиях / А.Б. Гольцов, В.М. Киреев, А.Ю. Феоктистов // Экология промышленного производства. – 2013. – №1. – С. 2-5.
10. Семенов А.С., Алифанова А.И., Гольцов А.Б., Кондрашева М.Р. О производственной пыли в цементной промышленности // Сборник научных трудов Sworld. 2014. Т. 18. № 4. С. 70-74.
11. Семенов, А.С. Повышение эффективности аспирации при загрузке цементных силосов / А.С. Семенов, Е.Н. Попов, М.А. Ващенко // Фундаментальные исследования в гуманитарной сфере социально-экономического развития области: сб. научных трудов научно-практической конференции. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2013.
12. Huque S.T., Donecker P., Rozentals J.J., Benjamin C.W. The Transfer Chute Design Manual: For Conveyor Belt Systems. Conveyor Transfer Design Pty. Limited, 2010. 272 p.
13. Howard L. Hartman, Jan M. Mutmansky, Raja V. Ramani, Y. J. Wang Mine Ventilation and Air Conditioning. Wiley-Interscience, 1997. 752 p.
14. Olga Alerksandrovna Averkova, Valentina Ivanovna Belyaeva, Konstantin Ivanovich Logachev, Valery Anatolievich Uvarov, Arsen Enverovich Canar. About dynamics of clinker dust in an aspiration hideout// Middle-East Journal of Scientific Research 17 (8): 1181-1186, 2013.
15. Uvarov V.A., Logachev K.I., Logachev I.N., Averkova O.A., Tolmacheva E.I. Modeling the behavior of dust particles in a suction unit // Proceeding of the 6th International Conference on Vortex Flows and Vortex Models (ICVFM Nagoya 2014). 2014. pp. 1-6

16. Пат. 97168 Российская Федерация, МПК M21F 5/00. Аспирационное укрытие мест перегрузки сыпучего материала / Гольцов А.Б., Минко В.А., Логачев И.Н. и др. (Россия) – №2010114416/03; Заявл. 12.04.2010, опубл. 27.08.2010 Бюл. №24.

### ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ СИСТЕМЫ АСПИРАЦИИ

Пономаренко В.В., Алифанова А.И.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород,  
e-mail: tgv.bel@gmail.com

Переработка сыпучих материалов (перегрузка, дробление, грохочение и др.) на предприятиях различных отраслей (горнорудной, строительной, металлургической, угольной и др.) сопровождаются интенсивным выделением пыли. Основными методами борьбы с пылью являются технологические, гидрообеспыливание, пенопылеподавление, системы комплексной обеспыливающей вентиляции. Наиболее эффективным методом является система комплексной обеспыливающей вентиляции включающих в себя: аспирацию, пневмоуборку просыпей, общеобменную вентиляцию. Системы аспирации ликвидируют основную причину пылеобразования – избыточное давление, за счет локализации источников пылеобразования укрытиями, последующее удаление от них запыленного воздуха и его очистка [1-4, 9].

Совершенствование систем аспирации (СА) возможно при использовании метода оптимизации. Совершенствование СА может происходить в различных направлениях, например, в следующих, совершенствование (или создание) технологического процесса, конструкций укрытий, конструкций пылеулавливающих агрегатов, автоматизация данных систем и др.

Системы аспирации, как известно, бывают централизованными (ЦСА) и децентрализованными (ДСА). Одним из основных преимуществ ДСА перед ЦСА, является минимальные энергетические затраты, а одним из основных преимуществ ЦСА перед ДСА есть минимальное количество эксплуатируемого оборудования (вентиляторов, электродвигателей и др.). Централизованные системы аспирации в отличие ДСА включают в себя множество отсосов от укрытий перегрузок и технологического оборудования. В ряде случаев, когда оборудование находится на ремонте или востребовано не полностью из-за малых объемов перерабатываемого сырья (одним словом работает не на полную мощность, по той или иной причине). Возникает задача нерационального использования электроэнергии ЦАС, по причине работы ЦАС на полную мощность. Решение данной задачи является важнейшим в деле энергосбережения. Одним из способов решения этой задачи возможно при использовании системы клапанов, работа которых связана с технологическим процессом и направлена на регулирование частоты вращения рабочего вала электродвигателя, что позволит обеспечить требуемое разряжение в системе с учетом минимальных энергозатрат, такую систему можно назвать автоматизированной клапанно-централизованной системой аспирации (АКЦСА).

Соответственно, в нашем случае оптимизация централизованной системы аспирации находится на пути ее автоматизации.

Существует 3-и уровня оптимизации систем обеспыливающей вентиляции [5]: технологический; проектный; реконструкционный.

Первый уровень (технологический), очевидно, является стратегическим, когда решаются принципиальные вопросы того или иного технологического процесса. на втором (проектном) уровне, как правило, по уже известной технологической схеме ведется проектирование систем обеспыливания (аспирации,

систем ЦПУ, общеобменной вентиляции). на третьем (реконструкционном) уровне решаются задачи по оптимизации систем обеспыливания уже существующих и действующих систем.

В соответствии с разработанной методикой [5] можно выделить следующие основные этапы оптимизации: общий анализ задачи оптимизации; определение критерия оптимизации; выбор оптимизирующих или управляемых переменных и анализ их влияния на критерий оптимизации; составление математической модели процесса, характеризующего критерий оптимизации; выбор метода оптимизации и оптимальный расчет.

Проанализируем этапы оптимизации применительно к расчету автоматизированной клапанно-централизованной системы аспирации.

Таким образом, общая задача оптимизации централизованной системы аспирации заключается в определении минимального расхода аспирируемого воздуха ( $Q_{асп}$ ), без снижения эффективности системы аспирации, что приведет к снижению энергозатрат (выраженных в мощности потребляемой электродвигателями,  $N$ ) при работе системы.

В качестве критерия могут быть приняты энергозатраты  $N$  (кВт). Возможны и другие критерии оптимизации (такие как объем аспирации  $Q_{асп}$ , концентрация пыли перед и после пылеуловителя и др.).

Оптимизируемыми и управляемыми переменными могут быть приняты: объемы аспирации от работающего оборудования  $Q_{асп,раб,i}$ , необходимые объемы аспирации  $Q_{асп}$  и параметры от которых они непосредственно зависят (расход  $G_m$ , плотность  $\rho_m$ , влажность материала  $W$ , гранулометрический состав материала  $N_i-d_i$ , геометрические параметры желоба (площадь поперечного сечения  $F$ , высота перегрузки  $H$ ) и укрытия (ширина конвейерной ленты  $B$ ), предельно допустимая концентрация  $c_{п.д.к.}$  в воздухе рабочей зоны и на выбросе.

$$Q_{асп,раб} = \sum_{i=1}^n Q_{асп,i} \quad (1)$$

В нашем случае объемы аспирации ( $Q_{асп,раб,i}$ ) главным образом зависящие от количества включенного оборудования (технологических линий,  $i$ ) являются одной из основных переменных оказывающих влияние на энергозатраты  $N$ . С другой стороны, как описано в [10, 11] значительное влияние на  $Q_{асп}$  оказывают геометрические параметры желоба (площадь поперечного сечения  $F$ ), суммы коэффициентов местных сопротивлений ( $\Sigma\xi$ ). При проектировании величина  $F$  выбирается исходя только из технологических соображений, но в тоже время оказывает существенное влияние на  $Q_{асп}$  и на другие параметры систем обеспыливания. Величина  $\Sigma\xi$  включает в себя ряд КМС, описанных в [1, 5-8] и как правило, при проектировании не регламентируется, что на практике приводит к значительным энергетическим затратам  $N$  при малых значениях  $\Sigma\xi$ . Существенное значение на увеличение  $\Sigma\xi$  оказывает конструкция укрытия [1-8, 12]. В общем виде функциональную зависимость  $Q_{асп}$  можно представить в следующем виде:

$$Q_{асп} = f(G_m, \rho_m, N_i - d_i, \Sigma\xi, F, H, B, c_{п.д.к.}), \quad (2)$$

Известно, что мощность электродвигателя вентилятора зависит от расхода аспирируемого воздуха  $Q_{асп}$ , потерь давления  $\Delta P$ , коэффициентов полезного действия вентилятора и типа передачи ( $\eta$ ) соответствующей общей математической модель имеет следующий вид:

$$N = f(Q_{асп,раб}, \Delta P, \eta), \quad (3)$$