

DOI: 10.12737/24622

Крюков И.В., начальник отдела ОНИРС УПКВК
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

РАЗРАБОТКА ИНЖЕНЕРНОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА СИСТЕМЫ АСПИРАЦИИ С УКРЫТИЕМ, ОБОРУДОВАННЫМ БАЙПАСНОЙ КАМЕРОЙ И ПЕРФОРИРОВАННЫМ ЖЕЛОБОМ*

iliya.krukov@yandex.ru

В работе представлена инженерная методика расчета системы аспирации с рециркуляцией воздуха. Методика расчета базируется на основе имеющихся методик подбора и расчета, учитывая полученные в ходе экспериментов данные. Представлен коэффициент рециркуляции и его значения.

Ключевые слова: обеспыливающая вентиляция, аспирационное укрытие, рециркуляция воздуха, байпасирование.

Необходимость системы обеспыливающей вентиляции на предприятиях металлургической, горнодобывающей, сельскохозяйственной промышленности, при производстве строительных материалов обусловлена тем, что в ходе технологических операций в воздух рабочей зоны предприятия, а также в окружающую атмосферу промышленных площадок выбрасывается огромное количество пыли. Негативное влияние пыли на организм человека подтверждено в работах [1–4]. Для снижения выброса пыли места ее образования локализуют укрытиями, оборудованными местным отсосом [4–14]. Несмотря на свою эффективность затраты на эксплуатацию данных систем могут быть значительно выше.

В ходе множества проведенных экспериментов по исследованию процесса снижения объемов удаляемого из укрытия воздуха за счет рециркуляции воздуха при помощи комбинированного использования цилиндрической байпасной камеры и перфорации желоба возникла необходимость разработки инженерной методики расчета. Данная методика позволит производить расчеты системы обеспыливающей вентиляции с учетом полученных в ходе диссертационного исследования результатов.

Целью работы является разработка инженерной методики расчета удаляемого воздуха от аспирационного укрытия, оборудованного цилиндрической байпасной камерой и перфорированным желобом.

Основу методики составляют расчетные зависимости объема эжектируемого воздуха, одним из основных параметров которых является аэродинамическое сопротивление тракта "верхнее укрытие – желоб – нижнее укрытие" [2–4, 13, 14].

Исходными данными для выполнения расчета являются следующие величины:

1. Характеристика перегружаемого материала: гранулометрический состав, плотность материала ρ_m , расход материала G_m .

2. Характеристика перегрузочного узла: схема узла с высотами падения материала, площадь поперечного сечения желоба $S_{жс}$, тип аспирационного укрытия, площади неплотностей верхнего и нижнего укрытий.

Расчет объемов аспирируемого воздуха ведут в следующей последовательности.

1. Определяется скорость потока падающего по желобу материала при входе в укрытие v_k путем последовательного расчета скорости движения материала на каждом прямолинейном участке желоба. Т.к. в исследуемом укрытии желоб расположен только вертикально:

$$v_k = \sqrt{v_n^2 + 2gh}, \quad (1)$$

Скорость в желобе будет определяться следующим образом:

а) скорость в начале желоба

$$v_n = \sqrt{2gh_1}, \quad (2)$$

где h_1 – высота между конвейерной лентой и входом в загрузочный желоб.

б) скорость в конце участка

$$v_k = \sqrt{v_n^2 + 2gh_2}. \quad (3)$$

где h_2 – высота загрузочного желоба.

2. Значение объемной концентрации частиц в желобе, m^3/m^3 :

$$\beta = \frac{2 \cdot G_m}{\rho_m \cdot S_{жс} \cdot (1+n) \cdot v_k}, \quad (4)$$

где $n = v_n/v_k$ – отношение скорости потока частиц в начале желоба к конечной скорости потока;

3. Средний диаметр частиц перегружаемого материала, мм:

$$d = \sum_{i=1}^9 m_i d_i, \quad (5)$$

где m_i – процентное содержание (по массе) частиц диаметром d_i (определяется из гранулометрического состава материала);

При значении $d \leq 14,6 \cdot \sqrt{\beta}$ в качестве расчетного следует принимать средний диаметр $d = 14,6 \cdot \sqrt{\beta}$.

4. Сумма коэффициентов местных сопротивлений укрытий и желоба аспирационной системы

$$\sum \zeta = \zeta_{\text{вн}} + \zeta_{\text{жс}} + \zeta_{\text{ну}}, \quad (6)$$

$\zeta_{\text{ну}}$ – к.м.с. нижнего укрытия; $\zeta_{\text{жс}}$ – к.м.с. желоба (для вертикальных желобов принимается $\zeta_{\text{жс}} = 1,5$, $\alpha = 90^\circ$); $\zeta_{\text{вн}}$ – к.м.с. верхнего укрытия. Стоит отметить, что при наличии перфорации стенок желоба в сумму к.м.с. $\sum \zeta$ гидравлического тракта системы "верхнее укрытие – желоб – нижнее укрытие" добавится значение $\zeta_{\text{перф}}$, которое будет зависеть от множества параметров.

Для укрытий имеющих жесткую внутреннюю перегородку величина $\zeta_{\text{ну}}$ зависит от отношения площади поперечного сечения желоба к площади перегородки $S_{\text{жс}}/S_n$ и отношения высоты перегородки к высоте укрытия H_n/H_y . Значение $\zeta_{\text{ну}}$ для данных укрытий представлены в таблице 1. Для укрытий без внутренней жесткой перегородки $\zeta_{\text{ну}} = 0$. Для случая рассматриваемого укрытия наличие жесткой вертикальной перегородки обязательно. Это позволит создать необходимое сопротивление между входным отверстием байпасной камерой и местным отсосом для лучшей рециркуляции эжектируемого воздуха.

Величина к.м.с. верхнего укрытия $\zeta_{\text{вн}}$ рассчитывается:

$$\zeta_{\text{вн}} = 2,4 \left(\frac{S_{\text{жс}}}{f_n} \right)^2, \quad (7)$$

где f_n – площадь неплотностей верхнего укрытия, m^2 .

Таблица 1

Значения $\zeta_{\text{ну}}$ для укрытий с двойными стенками и внутренней перегородкой

$S_{\text{жс}}/S_n$	H_n/H_y				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
1,0	193	44,5	17,8	8,12	4,02
0,8	124	28,5	11,4	6,19	2,57
0,6	69,5	16,0	6,41	2,92	1,45
0,4	30,9	7,12	2,84	1,3	0,64
0,2	7,72	1,78	0,71	0,32	0,16
0,1	1,93	0,45	0,18	0,08	0,04

5. Коэффициент лобового сопротивления

$$\psi = 1,8 \cdot \exp \left[-1,8 \cdot \sqrt{\beta \cdot 10^3} / d \right]. \quad (8)$$

6. Значение числа Бутакова-Нейкова

$$Bu = 1,5 \cdot \psi \cdot \frac{G_m v_k}{d \cdot 10^{-3} \rho_m F_{\text{жс}} g \sum \zeta}. \quad (9)$$

По данной формуле вычисляется число Bu для вертикальных желобов и для желобов с преобладанием вертикальных участков.

7. Значение критерия Эйлера

$$Eu = \frac{P_y}{\sum \zeta \frac{v_k^2}{2} \rho_v}, \quad (10)$$

где P_y – разряжение в нижнем укрытии, ρ – плотность отсасываемого воздуха.

Если происходит аспирация технологического оборудования, обладающего вентилиру-

ющей способностью (дезинтеграторы, валковые и молотковые дробилки), то необходимо к разряжению в укрытии добавить величину давления $P_{об}$, развиваемого рабочими органами оборудования. В этом случае выражение (10) примет следующий вид

$$Eu = 2(P_y + P_{об}) / \rho_v \cdot v_k^2 \cdot \sum \zeta$$

8. При известных числах Bu и Eu можно найти коэффициент скольжения компонентов для равномерно ускоренного потока частиц по формуле:

$$\phi = \sqrt{Eu + \frac{Bu}{3} \left[|1 - \phi|^3 - |n - \phi|^3 \right]}. \quad (11)$$

Решение уравнения (11) можно найти, применяя метод последовательных приближений и полагаем в качестве первого приближения

$$\varphi_1 = 0,5 \cdot \left(\frac{1+n}{2} + \sqrt{Eu} \right). \quad (12)$$

Если $\varphi_1 < n$, то следует определять величину φ решением квадратного уравнения (получаемого из (12), опуская знаки абсолютной величины и раскрывая скобки):

$$\varphi = \sqrt{\left(\frac{b}{2a} \right)^2 + c/a} - b/(2a) \quad (13)$$

где

$$a = 1 - Bu \cdot (1 - n) \quad (14)$$

$$b = (1 - n)^2 \cdot Bu \quad (15)$$

$$c = Eu + \frac{Bu}{3} (1 - n^3) \quad (16)$$

9. Расход воздуха, который поступает по желобу в нижнее укрытие, m^3/c :

$$Q_{жс} = \varphi \cdot v_k \cdot F_{жс} \cdot (1 - \beta)^2. \quad (17)$$

10. Расход воздуха, который поступает через неплотности в нижнее укрытие, m^3/c :

$$Q_n = 0,65 \cdot S_n \cdot \sqrt{\frac{2P_y}{\rho_g}} \quad (18)$$

где S_n – площадь неплотностей нижнего укрытия.

11. Транзитный расход воздуха, m^3/c :

$$Q_m = \kappa_p \cdot Q_{жс} \quad (19)$$

где κ_p – коэффициент рециркуляции.

Транзитный расход воздуха Q_m показывает, какое количество воздуха перетекает из приемной части укрытия в аспирируемую, из которой удаляется. Транзитный расход Q_m зависит от количества воздуха $Q_{жс}$ поступающего в приемную часть укрытия по желобу. Стоит также отметить и значение коэффициента рециркуляции κ_p , который согласно (19) равен отношению транзитного и эжектируемого (поступающего по желобу) воздуха

$$\kappa_p = \frac{Q_m}{Q_{жс}} \quad (20)$$

Можно также определить количество воздуха, идущее на рециркуляцию

$$Q_p = Q_{жс} - Q_m \quad (21)$$

Т.к. определить значение транзитного расхода воздуха достаточно сложно и требует много времени, то для упрощения расчета нами предлагается использовать значения коэффициента рециркуляции на основании полученных экспериментальных значений, выполненных при

имитации потока эжектируемого воздуха за счет нагнетателя и при перегрузке сыпучего материала, $\kappa_p = 0,4 - 0,5$ при наличии только байпасной камеры, $\kappa_p = 0,25 - 0,35$ – при наличии байпасной камеры и перфорации. Данные значения коэффициента рециркуляции κ_p были получены для оптимальных значений площади сечения байпасной камеры, при которых рециркуляция воздуха максимальна. Согласно экспериментальным исследованиям [13, 14], оптимальные значения для осуществления рециркуляции находятся в пределах 2 - 2,5.

12. Расход отсасываемого воздуха:

$$Q_a = Q_m + Q_n \quad (22)$$

Полученные значения расходов воздуха позволят провести гидравлический расчет воздуховодов аспирационной системы.

Как уже отмечалось выше, для осуществления рециркуляции воздуха в предложенном аспирационном укрытии необходимо наличие оптимального отношения диаметров байпасной камеры и загрузочного желоба.

Можно предположить, что при большей площади сечения байпасной камеры, которая представляет собой сечение в виде кольца, образуемого коаксиально расположенными желобом и байпасом, значение гидравлического сопротивления будет меньше, а при меньшей площади – сопротивление больше. Если снижать диаметр байпаса D_b до диаметра желоба $D_{жс}$, то мы придем к тому, что байпасная камера будет отсутствовать, а, следовательно, ни о какой рециркуляции речи быть не может.

Опустив подробности подбора вентилятора и построения гидравлической характеристики сети, остается определить расчетную мощность электродвигателя, необходимую для стабильной работы выбранного вентилятора для обеспечения требуемых потерь давления и расходов воздуха. Мощность электродвигателя определяли по формуле

$$N = \frac{Q_3 \cdot P_3}{1000 \cdot \eta_g \cdot \eta_n} \quad (23)$$

где Q_3 и P_3 – расчетные значения расхода воздуха и потерь давления с учетом коэффициента запаса равного 1,1; η_g – к.п.д. вентилятора равное для подобранного нами вентилятора 0,7; η_n – к.п.д. передачи равное 0,95.

Как видно из формулы 23 при снижении Q_3 будет уменьшаться мощность электродвигателя N , что приведет к снижению затратам на работу электродвигателя вентилятора.

**Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам Президента РФ (проект МД-95.2017.8).*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабанов С.А., Гайлис П.В. Пневмокониозы от воздействия производственной пыли различной степени фиброгенности // Трудный пациент. 2010. Т.8. №5. С. 35–38.
2. Логачев И.Н., Логачев К.И. Аэродинамические основы аспирации. СПб.: Изд. Химиздат, 2005. 659 с.
3. Логачёв И.Н., Логачёв К.И., Аверкова О.А. Энергосбережение в аспирации. Теоретические предпосылки и рекомендации. Москва–Ижевск: РХД, 2013. 504 с
4. Logachev I.N., Logachev K.I., Industrial Air Quality and Ventilation Controlling Dust Emissions. CRC Press, Boca Raton, London, New York, 2014, 401 p.
5. Logachev I., Logachev K., Averkova O. Local Exhaust Ventilation. Aerodynamic Processes and Calculations of Dust Emissions. CRC Press, Boca Raton, London, New York, 2015, 549 p.
6. Аверкова О.А., Логачев И.Н., Логачев К.И. Эжекция воздуха потоком сыпучего материала в пористой вертикальной трубе с байпасной цилиндрической камерой // Инженерно-физический журнал. 2015. Т. 88. № 4. С. 813–826.
7. Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А. Эжекция воздуха при перегрузках сыпучих материалов в вертикальных каналах с ковшами. Сообщение 1. Закономерности изменения эжекционного напора в желобах // Известия вузов. Строительство. 2013. №9. С. 53–63.
8. Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А. Эжекция воздуха при перегрузках сыпучих материалов в вертикальных каналах с ковшами. Сообщение 2. Эжектирующие свойства ленточного ковшового элеватора // Известия вузов. Строительство. 2013. №10. С.38–47.
9. Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А. Эжекция воздуха при перегрузках сыпучих материалов в вертикальных каналах с ковшами. Сообщение 3. Обсуждение результатов исследований // Известия вузов. Строительство. 2014. №1. С. 66–74.
10. Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А., Толмачева Е.И. Разработка способов снижения объема аспирации при перегрузках сыпучих материалов ковшовыми элеваторами. Сообщение 1. Особенности расчетной схемы аспирации элеваторных перегрузок // Известия вузов. Строительство. 2014. №2. С. 46–56.
11. Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А., Толмачева Е.И. Разработка способов снижения объема аспирации при перегрузках сыпучих материалов ковшовыми элеваторами. Сообщение 2. Снижение объемов аспирации // Известия вузов. Строительство. 2014. №3. С.42–51.
12. Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А., Толмачева Е.И. Разработка способов снижения объема аспирации при перегрузках сыпучих материалов ковшовыми элеваторами. Сообщение 3. Результаты расчетов и их обсуждение // Известия вузов. Строительство. 2014. №4. С. 86–98.
13. Логачев К.И., Крюков И.В., Аверкова О.А. Моделирование воздушных потоков в аспирационном укрытии с рециркуляцией // Новые огнеупоры. 2015. № 8. С.57–62.
14. Логачев К.И., Крюков И.В., Аверкова О.А. Моделирование воздушных потоков в аспирационном укрытии с рециркуляцией // Новые огнеупоры. 2015. №8. С. 57–62.

Kryukov I.V.

THE DESIGN OF ENGINEERING METHOD OF CALCULATING THE ASPIRATION SYSTEM WITH SHELTER, EQUIPPED WITH A BYPASS CHAMBER AND PERFORATED TROUGH

The paper presents an engineering method for calculating aspiration system with air recirculation. Method of calculation is based on the existing selection procedures and calculation, considering the data obtained in the experiments. Presented recycling rate and its value.

Key words: *dedusting ventilation, ventilation shelter, air recycling, bypassing.*

Крюков Илья Валерьевич, начальник ООНИРС УПКВК.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46.

E-mail: iliya.krukov@yandex.ru