

Исследование основных показателей выбросов пыли асбестоцемента в атмосферный воздух для оценки их влияния на качество жизни работающих

В.Н. Азаров¹, С.А. Кошкарев¹, М.А. Николенко², Р.А. Бурханова¹

¹Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

²Ростовский государственный строительный университет

Аннотация: В статье приводятся результаты сравнительного анализа полученных авторами основных показателей при расчете выбросов пыли асбестоцемента в атмосферный воздух в соответствии со стандартной методикой и расчет коэффициента оседания F для асбестоцементной пыли.

Ключевые слова: методика, асбестоцемент, асбестоцементные заводы, объемы пылевыведений, качество жизни, воздействие на здоровье работающих.

Качество жизни человека напрямую зависит от качества окружающей среды для населения, проживающего в районах расположения предприятий стройиндустрии, и от качества производственной среды для работающих на предприятии [1].

При осуществлении многих технологических процессов в асбестоцементной промышленности в рабочие зоны предприятий выделяется большое количество мелкодисперсной пыли [2]. В настоящее время с медицинской точки зрения достаточно изучен патогенез воздействия пылевых частиц на организм работающего, причем их размер является очень важным фактором. Вследствие этого особо важное значение приобретают вопросы, связанные с исследованием дисперсного состава пыли, объема пылевыведений и фракционной концентрации пыли в воздухе рабочих и жилых зон [3,4].

В настоящее время действует целый ряд методик по расчету выбросов, достаточно апробированных на практике и позволяющих определять выбросы в атмосферу с погрешностью, не превышающей точность определения с помощью инструментальных методов [5,6].

В соответствии с методикой для расчетов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу неорганизованными источниками предприятий промышленности строительных материалов [7], объемы пылевыведений от всех этих источников при производстве асбестоцемента могут быть рассчитаны по формуле (1):

$$M_2 = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot K_8 \cdot K_9 \cdot B \cdot G_ч \cdot 10^6}{3600} \quad (1)$$

где $K_1, K_2 \dots K_8$ – полуэмпирические коэффициенты, учитывающие физико-химические характеристики строительного материала, местные метеоусловия и тип перегрузочного устройства;

K_5 – коэффициент, учитывающий влажность пылевой и мелкозернистой фракции материала ($d < 1$ мм).

K_9 - поправочный коэффициент, учитывающий фактор «залповости» выброса.

$G_ч$ - суммарное количество перерабатываемого материала в час, т/час;

B - коэффициент, учитывающий высоту пересыпки.

Особое внимание представляют такие показатели, как весовая доля пылевой фракции в материале (K_1) и доля пыли, переходящая в аэрозоль (K_2). Анализ справочных данных литературы показывает, что значение данные коэффициентов для пыли асбестоцемента в справочной части методики [7] отсутствуют.

В соответствии с проведённым авторами дисперсным анализом проб асбестоцементной пыли [8], взятых в воздухе рабочей зоны и из систем аспирации, обслуживающих технологическое оборудование и процессы на предприятии Волгоградской области (рис.1), диаметр частиц пыли не превышает 60 мкм. Таким образом, масса пылевой фракции размером от 0 до 200 мкм соответствует всей массе навески.

Следовательно:

$$K_1 = \frac{m_{\text{пыл.фр.}}}{m_{\text{пыли}}} = 1$$

По данным, имеющимся в литературе (ГОСТ 12871-93 (Асбест хризотилковый. Общие технические условия)), размер частиц аэрозоля пыли асбестоцемента установлен авторами и имеет величину 3 мкм.

Таким образом, для пробы, взятой в воздуховоде:

$$K_2 = \frac{m_{\text{аэр}}}{m_{\text{пыл.фр.}}}$$

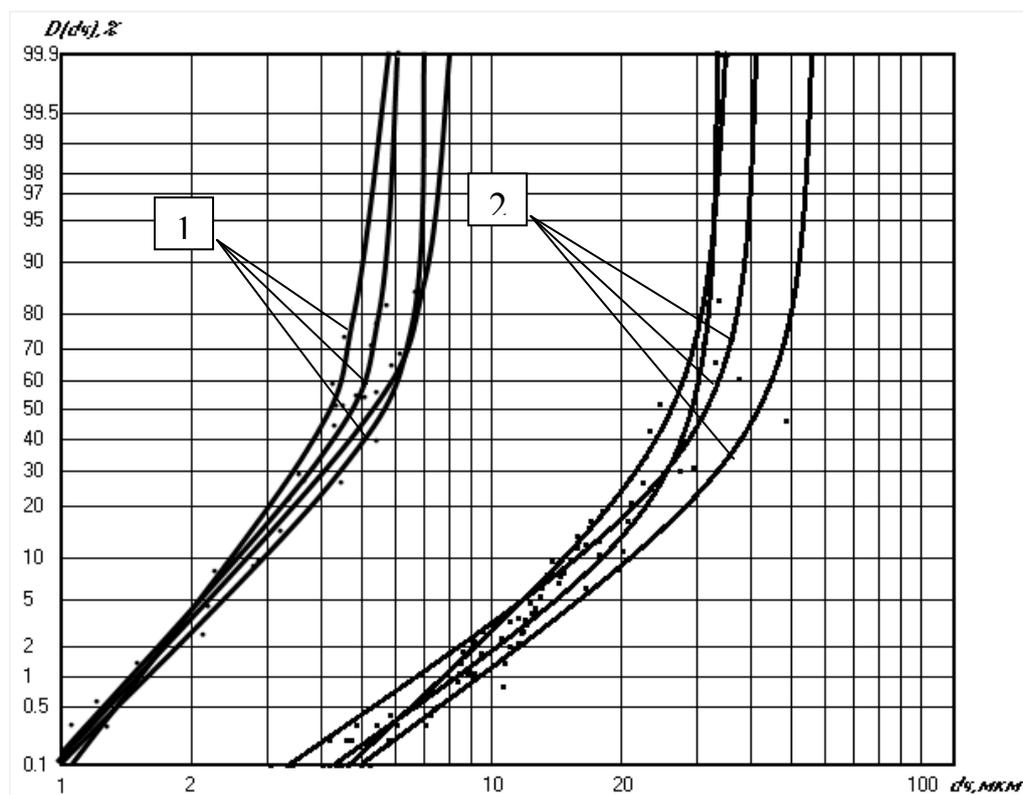


Рис.1. – Интегральные кривые распределения $D(d_v)$ массы частиц по диаметрам при производстве асбестоцементных изделий: 1 – из систем аспирации, обслуживающих технологическое оборудование и процессы, характеризующиеся наиболее интенсивным пылеобразованием; 2 – выделяющейся в воздух рабочей зоны.

$$m_{\text{аэр}} = 20\% \cdot m_{\text{пыл.фр}}$$

20 % - доля частиц асбестоцементной пыли, переходящей в аэрозоль, в соответствии с интегральными кривые распределения $D(d_v)$ массы частиц по диаметрам (рис.1).

$$K_2 = 0,2$$

Однако, анализируя [7], табличное значение K_1 должно стремиться к 0,05, а значение K_2 - к 0,01, как у материала наиболее близкого по своим физико-механическим свойствам к минеральной вате.

Тогда произведение этих коэффициентов составит для асбестоцемента:

$$K^{\text{ац}} = 1 \cdot 0,2 = 0,2$$

для минеральной ваты, соответственно методике [7]:

$$K^{\text{МВ}} = 0,05 \cdot 0,01 = 0,005$$

Отношение коэффициентов:

$$K^{\text{ац}} / K^{\text{МВ}} = 0,2 / 0,005 = 40$$

В соответствии с (ГОСТ 12871-93 (Асбест хризотилковый. Общие технические условия)), естественная влажность асбеста не должна превышать 2%. Следовательно:

$$K_5 = 0,8$$

Значение K_5 должно стремиться к 1, как у строительного материала наиболее близкого по физико - механическим характеристикам к минеральной вате. Данное условие выполняется.

Согласно технологической схеме производства асбестоцементных изделий, асбест доставляют на заводы в бумажных мешках в железнодорожных вагонах. На заводе хранят в закрытом складе на деревянном полу в отдельных отсеках для разных марок и сортов. Следовательно, в данном случае «залповость» выброса не наблюдается.

$$K_9 = 1$$

То есть, значение K_9 совпадает с табличным значением для минеральной ваты.

Далее авторами был определен коэффициент F для расчётов загрязнения атмосферы от мелкодисперсных взвешенных частиц размерами 10 мкм (PM10) и 2,5 мкм (PM 2,5) пыли асбестоцемента с помощью двух различных методик.

Чтобы определить безразмерный коэффициент F , учитывающий скорость оседания частицы, согласно примечания 1 к п. 2.5. ОНД-86 [9], необходимо с помощью интегральной кривой распределения масс частиц по диаметрам (рис.1) выявить такой диаметр d_g , чтобы масса всех частиц диаметром больше d_g составляла 5 % общей массы частиц пыли и соответствующую d_g скорость оседания частицы V_g (м/с).

Далее определяется опасная скорость ветра U_m в соответствии с п. 2.9 ОНД-86 [9]. После чего устанавливается значение коэффициента F в зависимости от соотношения V_g / U_m , а именно: при $V_g / U_m \leq 0,015$ $F=1,0$; при $0,015 < V_g / U_m \leq 0,030$ $F=1,5$; для всех остальных значений V_g / U_m коэффициент оседания F устанавливается согласно п. 2.5 «б» ОНД-86.

Скорость оседания твердых частиц V_g определяется по закону Стокса:

$$V_g = \frac{9.8 \cdot d_g^2 \cdot \rho \cdot g}{18 \cdot \mu} \quad (2)$$

где d_g - диаметр частиц, м;
 ρ - плотность частиц диаметром d_g , кг/м³;
 g - ускорение свободного падения, м/с²;
 μ - динамическая вязкость газа, Па·с;
для воздуха

$$\mu = \frac{1.75 \cdot 10^{-6} \cdot (273 + t)^{0.683}}{273^{0.683}} \quad (3)$$

где t - температура уходящих дымовых газов, °С.

С учетом реальных условий (3) формула (2) преобразуется:

$$V_g = \frac{1,45 \cdot 10^6 \cdot d_g^2 \cdot \rho}{T^{0.683}} \quad (4)$$

где T - температура дымовых газов, равная $273+t$, К;

Для данного строительного материала авторами получено значение

$$V_g = 3,51 \cdot 10^{-4} \text{ м/с.}$$

Опасная скорость ветра U_m для г.Волгограда принимается в соответствии со средними многолетними данными, повторяемость превышения которой составляет 5% : $U_{m1} = 9 \text{ м/с}$ и штилевое значение $U_{m2} = 0,5 \text{ м/с}$. Таким образом, параметр $V_g/U_m < 0,015$ и в первом и во втором случае. Следовательно, согласно приложения Е [10] коэффициент оседания $F = 1$.

В соответствии с методикой [9] скорость оседания примеси зависит от характеристики её частицы и среды, в которой она движется и определяется в зависимости от критерия Рейнольдса Re . Критерий Рейнольдса, в свою очередь, для практических расчётов определяется по графику в зависимости от комплекса $\xi \cdot Re^2$ [11], который определяется расчётом:

$$\xi \cdot Re^2 = \frac{8/6 \cdot \rho_{cp} \cdot d^3 \cdot g \cdot (\rho_c - \rho_{cp})}{\mu^2} \quad (5)$$

ρ_{cp} – плотность среды, для воздуха - $1,29 \text{ кг/м}^3$,

d – диаметр частицы пыли, м,

$g = 9,81$ - ускорение свободного падения,

$\rho_{\text{ч}}$ - плотность частицы пыли, кг/м³,

μ - вязкость воздушной среды, для воздуха- $18,14 \cdot 10^{-6}$ н*сек/м².

В зависимости от Re согласно [12] скорость оседания частицы V_g определяется:

$$\text{при } Re < 1,0 \quad V_g = \frac{d_g^2 \cdot g \cdot (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{сп}})}{18 \cdot \mu}, \text{ м/с (формула Стокса);}$$

$$\text{при } 500 > Re > 1,0 \quad V_g = \frac{Re \cdot \mu}{d \cdot \rho_{\text{сп}}}, \text{ м/с;}$$

$$\text{при } Re > 500 \quad V_g = 5,45 \cdot \sqrt{\frac{(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{сп}}) \cdot d}{\rho_{\text{сп}}}}, \text{ м/с.}$$

Далее определяется опасная скорость ветра U_m в соответствии с п. 2.9 ОНД-86 [9]. После чего устанавливается значение коэффициента F в зависимости от соотношения V_g/U_m , а именно:

при $V_g/U_m \leq 0,015$ $F=1,0$, при $0,015 < V_g/U_m \leq 0,030$ $F=1,5$, для всех остальных значений V_g/U_m коэффициент оседания F устанавливается согласно п. 2.5 «б» ОНД-86 [9].

Авторами статьи было определено значение параметра $\xi \cdot Re^2 = 0,23 \cdot 10^{-7}$ для асбестоцементной пыли. Далее вычислено значение V_g ($Re < 1,0$), оно составило:

$$V_g = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$$

Параметр $v_g/u_m < 0,015$. Следовательно, согласно приложения Е [10] коэффициент оседания равен $F = 1$.

Проведенные экспериментальные исследования дисперсного состава пыли позволили получить значения $K_1 = 1$ и $K_2 = 0,2$ для асбестоцементной пыли, которое можно использовать в расчетах выделения пыли по методике [1].

Расчёт ведется по укрупненным показателям для аналогичных по физическим свойствам материалов. Результаты работы показали, что

фактические выбросы асбестоцементной пыли превышают в 40 раз ориентировочные значения, полученные расчетом по методике [7] для материалов-аналогов. Значения K_5 и K_9 для пыли асбестоцемента совпадают с табличными значениями для аналогичных по физическим свойствам материалов.

На основании экспериментальных данных K_1 , K_2 и F можно с высокой степенью достоверности утверждать, что данная пыль относится к пылям с высокой степенью полидисперсности. Известно, что расчет рассеивания для пыли этого класса не проводится. Данная методика по ОНД-86 не работает для такого диаметра частиц, они стратифицируются на тысячи километров и находятся во взвешенном состоянии в течение нескольких часов. Следовательно, требуется дальнейшее изучение процессов рассеивания с созданием математического аппарата, методики, которая могла бы учесть данные физико-химических свойств частиц при их стратификации и седиментации.

Литература

1. Ильичев В.А. Техносферная безопасность. М.: Либрком, 2011. 240 с.
2. Workbook of atmospheric dispersion estimates: an introduction to dispersion modeling / D. Bruce Turner. Lewis Publishers, 2000. 192 p.
3. Азаров В.Н., Тертишников И.В., Маринин Н.А. Нормирование PM_{10} и $PM_{2,5}$ как социальные стандарты качества жизни в районах расположения предприятий стройиндустрии // Жилищное строительство. 2012. №3. С. 20-22.
4. Ullrich Teichert. Immissionen durch Asbestzement-Produkte Teil 1. Staub Reinhaltung der Luft, Vol. 46. 1986. No. 10, pp. 432-434.
5. Сергина Н.М., Боровков Д.П., Семенова Е.А. Совершенствование методов очистки воздуха рабочей зоны от пыли известкового щебня,

выделяющейся при разгрузке железнодорожных вагонов // Инженерный вестник Дона, 2012, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2009/250/.

6. Сергина Н.М. О применении вероятностного подхода для оценки эффективности многоступенчатых систем пылеулавливания // Инженерный вестник Дона, 2013, №3. ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1866/.

7. Методическое пособие по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов. Новороссийск: ЗАО «НИПИОТСТРОМ», 2001. 31 с.

8. Азаров В.Н., Юркьян В.Ю., Сергина Н.М., Ковалева А.В. Методика микроскопического анализа дисперсного состава пыли с применением персонального компьютера (ПК) // Законодательная и прикладная метрология. 2004. №1. С. 46-48.

9. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. М.: Гидрометеиздат, 1987. 92 с.

10. Методические указания по определению коэффициента оседания F при оценке загрязнения атмосферы твердыми выбросами ТЭС с учетом дисперсности летучей золы. М.: Российское акционерное общество энергетики и электрификации «ЕЭС России», 2001. 12с.

11. Рапопорт О.А., Копылов И.Д., Рудой Г.Н. К вопросу о нормировании выбросов мелкодисперсных частиц размерами менее 10 мкм (PM_{10}) и менее 2,5 мкм ($PM_{2,5}$). Екатеринбург: ООО «УГМК-Холдинг», 2009. 36 с.

12. Авербух Я.Д., Заостровский Ф.П., Матусевич Л.Н. Процессы и аппараты химической технологии. Ч.1. Свердловск: УПИ, 1969. 288 с.

References

1. Il'ichev V.A. Tekhnosfernaya bezopasnost' [Technosphere Safety]. М.: Librkom, 2011. 240 p.



2. Workbook of atmospheric dispersion estimates: an introduction to dispersion modeling / D. Bruce Turner. Lewis Publishers, 2000. 192 p.
3. Azarov V.N., Tertishnikov I.V., Marinin N.A. Zhilishhnoe stroitel'stvo. 2012. №3. pp. 20-22.
4. Ullrich Teichert. Immissionen durch Asbestzement-Produkte Teil 1. Staub Reinhaltung der Luft, Vol. 46. 1986. No. 10, pp. 432-434.
5. Sergina N.M., Borovkov D.P., Semenova E.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2009/250/.
6. Sergina N.M. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1866/.
7. Metodicheskoe posobie po raschetu vybrosov ot neorganizovannykh istochnikov v promyshlennosti stroitel'nykh materialov [Guidelines on the calculation of emissions from fugitive sources in the building materials industry]. Novorossiysk: ZAO «NIPIOTSTROM», 2001. 31 p.
8. Azarov V.N., Jurkjan V.Ju., Sergina N.M., Kovaleva A.V. Zakonodatel'naja i prikladnaja metrologija. 2004. №1. pp. 46-48.
9. OND-86. Metodika rascheta kontsentratsiy v atmosfernom vozdukh vrednykh veshchestv, sodержashchikhsya v vybrosakh predpriyatij [Method of calculating the concentrations in the air of harmful substances contained in industrial emissions]. M.: Gidrometeoizdat, 1987. 92 p.
10. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu koeffitsienta osedaniya F pri otsenke zagryazneniya atmosfery tverdymi vybrosami TES s uchetom dispersnosti letuchey zoly [Methodological guidance on the definition of sedimentation coefficient F in the evaluation of air pollution emissions solid TPP with the fineness of fly ash]. M.: Rossiyskoe aktsionernoe obshchestvo energetiki i elektrifikatsii «EES Rossii», 2001. 12p.
11. Rapoport O.A., Kopylov I.D., Rudoy G.N. K voprosu o normirovanii vybrosov melkdispersnykh chastits razmerami menee 10 mkm (RM_{10}) i menee



2,5 мкм (RM_{2,5}) [On the regulation of emissions of fine particles smaller than 10 microns (PM₁₀) and less than 2.5 microns (PM_{2,5})]. Ekaterinburg: ООО «UGMK-Kholding», 2009. 36 p.

12. Averbukh Ya.D., Zaostrovskiy F.P., Matusevich L.N. Protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii [Processes and devices of chemical technology]. Ch.1. Sverdlovsk: UPI, 1969. 288 p.