

## Математическое описание эффективности процесса гидродинамического пылезадерхания пенным слоем на открытых источниках предприятий строительной индустрии

*В.И. Беспалов, О.С. Гурова*

*Донской государственной технической университет*

**Аннотация:** В статье представлена физическая сущность гидродинамического метода снижения загрязнения воздушной среды пенным способом, как наиболее эффективной технологии пылезадерхания для открытых протяженных источников. Выполнено математическое описание с учетом физико-химических свойств пыли и пузырька пены, а также параметров возврата в технологическое сырье пылевых частиц за счет различных физических механизмов их захвата. Параметрическая зависимость эффективности обеспыливания как результирующего параметра пенного способа пылезадерхания обеспечивает возможность прогнозного ее расчета для рассматриваемой технологии реализации процесса пылезадерхания воздуха с учетом особенностей взаимодействия пыли со слоем пены.

**Ключевые слова:** Пылезадерхание, пылевые частицы, пенный способ, слой пены, эффективность пылезадерхания, ленточные транспортеры.

В настоящее время интенсивная эксплуатация, для которых одним из основных видов технологического оборудования являются, сопровождается повышенным образованием и выделением частиц [1].

Анализ результатов современных исследований [1-3] позволяет заключить, что наиболее эффективной технологией задержания неорганической пыли PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub> с содержанием SiO<sub>2</sub>>70% для ленточных транспортеров предприятий строительной индустрии, прежде всего, заводов железобетонных изделий и конструкций (ЖБИиК), является гидродинамический метод на основе применения слоя пены. Однако научно обоснованное управление эффективностью этого процесса для обеспечения ПДК пыли возможно лишь на основе получения ее параметрической зависимости.

Так как сущность пылезадерхания слоем пены заключается в

---

экранировании источника пыли, выполненное нами его математическое описание учитывает свойства пузырьков пены, пылевых частиц и особенности физических механизмов их взаимодействия.

С учетом вероятностной реализации последовательных взаимозависимых физических механизмов взаимодействия пылевых частиц [4] со слоем пены эффективность пылезадержания в этом случае, может быть описана следующей зависимостью:

$$E_{эф-пз} = 1 - (1 - E_{эф(1)-пз}) \cdot (1 - E_{эф(2)-пз}) \cdot (1 - E_{эф(3)-пз}) \quad , \quad (1)$$

где  $E_{эф(1)-пз}$ ,  $E_{эф(2)-пз}$ ,  $E_{эф(3)-пз}$  – эффективности, обусловленные действием соответственно инерционных сил; силами упругого взаимодействия и электрических сил.

Эффективность  $E_{эф(1)-пз}$  зависит от коэффициента инерционного осаждения  $K_{ин}$  и определяется по формуле:

$$E_{эф(1)-пз} = 1 - K_{ин} \quad . \quad (2)$$

Коэффициент  $K_{ин}$  определяется [5]:

- при условии, когда скорость пузырьков  $v_n$  меньше скорости, при которой пузырьки дробятся  $v_{др}$ , то есть  $v_n < v_{др}$ , по формуле:

$$K_{ин} = \frac{Stk}{Stk + A_1^1} \quad , \quad (3)$$

- если же  $v_n \geq v_{др}$ , тогда процесс дробления пузырьков носит массовый характер и  $E_{эф(1)-пз} = 0$ .

Значение  $Stk_{кр}$  зависит от формы объёма пены, расположенной в виде слоя над источником пылевыделения [5]. Кроме того, конфигурация самого источника пылевыделения также влияет на значение  $Stk_{кр}$ .

В оценке значений коэффициента  $A_1^1$  у различных авторов [5] наблюдаются определённые расхождения, которые можно объяснить зависимостью этого коэффициента от размеров частиц, скорости их движения, скорости пузырьков и ряда других факторов. С учетом

экспериментальных данных и методики, представленных в работе [6], применительно к пенному способу получена зависимость коэффициента  $A_I^1$  от соотношения фактических размеров  $d_q$  пылевых частиц и их критического размера  $d_{кр}$ .

Процесс экранирования пылевых частиц слоем пены характеризуется эффективностью  $E_{эф(2)-пз}$ , величина которой зависит, главным образом, от свойств пены и скорости встречи пылевых частиц с пузырьками пены. С учетом результатов экспериментальных и теоретических исследований, представленных в работах [7,8], применительно к пенному слою величина  $E_{эф(2)-пз}$  определяется по формуле:

$$E_{эф(2)-пз} = 1 - \exp \left[ -0,693 \cdot \left( \frac{v_{кр}^3}{v} \right)^2 \right], \quad (4)$$

где  $v_{кр}^3$  – критическая скорость пылевой частицы, при которой пузырек пены может разрушиться при экранирующем (упругом) взаимодействии, м/с.

Значение  $v_{кр}^3$  можно определить на основе [130, 131] с учётом упругих свойств плёнки пузырька:

$$v_{кр}^3 = \sqrt{2\pi \cdot \sigma \cdot d_q / m_q \cdot \left[ \delta / \delta_{кр} \cdot \left( 1 + d_q / d_n \cdot (d_q + \delta_{кр}) \right) \right] - 1}, \quad (5)$$

где  $\delta$ ,  $\delta_{кр}$  – соответственно средняя и критическая толщина плёнок в пенных пузырьках, м;  $m_q$  – масса пылевой частицы, кг.

Захват частиц пыли пеной под действием электрических сил [9] характеризуется эффективностью  $E_{эф(3)-пз}$ . Анализ экспериментальных данных [9,10] позволил получить зависимость эффективности захвата пылевых частиц под действием электрических сил:

$$E_{эф(3)-пз} = 1,7 \cdot 10^{-3} \cdot q_0^{0,65}, \quad (6)$$

где  $q_0$  – удельный электрический заряд пены, Кл/м.

С учетом уравнений (2)-(6) зависимость (1) эффективности пылезадержания пенным способом с применением пенного слоя принимает

ВИД:

$$E_{эф-нз} = 1 - d_q \cdot v \cdot \rho_q / (d_q \cdot v \cdot \rho_q + 360 \cdot \mu_g \cdot l) \cdot \exp \left[ -7,48 \sigma / v^2 \cdot \rho_q \cdot \left( l / d_q + 2,1 d_q / d_n \cdot (d_q + 4 \cdot 10^{-7}) \right) \right] \cdot \left( 1 - 1,7 \cdot 10^{-3} \cdot q^{0,65} \right) \quad (7)$$

Таким образом, обеспечивается возможность прогнозного расчета эффективности пылезадержания слоем пены с учетом особенностей его взаимодействия с пылевым аэрозолем.

### Литература

1. Беспалов В.И., Гурова О.С. Анализ возможных применений технологий обеспыливания воздуха на предприятиях строительной индустрии // Научное обозрение. Журнал, 2012, №6. С. 193-196.
2. Беспалов В.И., Гурова О.С., Самарская Н.С. Применение теории дисперсных систем для описания особенностей поведения токсичных компонентов отходящих и выхлопных газов стационарных и передвижных источников урбанизированных территорий // Инженерный вестник Дона, 2013, № 4 URL: ivdon.ru/ magazine/archive/n3y2013/ 1963.
3. Ann T.W. Yu, Yuzhe Wu, Bibo Zheng, Xiaoling Zhang, Liyin Shen (2014) Identifying risk factors of urban-rural conflict inurbanization: A case of China. Habitat International, Volume 44. Pp. 177-185.
4. Bepalov VI, Gurova OS, Samarskaya NS, Lysova EP, Mishchenko AN (2014). Development of Physical and Energy Concept for Assessment and Selection of Technologies for Treatment of Emissions from Urban Environment Objects //Biosciences biotechnology research asia, December 2014. Pp.1615-1620.
5. Беспалов В.И., Гурова О.С., Юдина Н.В. и др. Совершенствование способов и средств обеспыливания воздушной среды бетоносмесительных отделений заводов железобетонных изделий и конструкций. – Ростов-на-Дону: изд-во Рост. гос. строит. ун-т, 2015.-126 с.



6. Беспалов В.И., Гурова О.С. Применение физико-энергетического подхода к описанию процесса загрязнения воздуха заводами железобетонных изделий и конструкций // Инженерный вестник Дона, 2013, № 3 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1963.

7. Daniela Vallero. Fundamentals of Air Pollution fourth edition. Civil and Environmental Engineering Department Pratt School of Engineering Duke University, Durham, North Carolina, 2007. – 156 p.

8. Романюк Т.Ф. Технология производства строительных материалов. - Томск: Федеральное агентство по образованию, Томский гос. архитектурно-строительный ун-т, 2006. - 154 с.

9. Беспалов В.И., Гурова О.С., Самарская Н.С., Парамонова О.Н. Промышленная экология. - Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2009.-88 с.

10. Беспалов В.И., Гурова О.С., Мещеряков С.В. Процессы и аппараты снижения загрязнения воздушной среды. – Ростов-на-Дону: изд-во Рост. гос. строит. ун-т, 2014.-112 с.

### References

1. Bepalov V.I., Gurova O.S. Nauchnoe obozrenie. 2012. №6. Pp. 193-196.

2. Bepalov V.I., Gurova O.S., Samarskaja N.S. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, № 4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1963.

3. Ann T.W. Yu, Yuzhe Wu, Bibo Zheng, Xiaoling Zhang, Liyin Shen (2014) Identifying risk factors of urban-rural conflict in urbanization: A case of China. Habitat International, Volume 44. Pp. 177-185.

4. Bepalov VI, Gurova OS, Samarskaya NS, Lysova EP, Mishchenko AN (2014). Biosciences biotechnology research asia, December 2014. Pp. 1615-1620.

5. Bepalov V.I., Gurova O.S., Judina N.V. i dr. Sovershenstvovanie sposobov i sredstv obespylivaniya vozduшной среды бетоносмесительных отделений



zavodov zhelezobetonnyh izdelij i konstrukcij [The improvement of methods and means of dedusting and air pollution concrete mixing offices, factories of reinforced concrete products and structures]. Rostov-na-Donu: Rost. gos. stroit. un-t, 2015.126 p.

6. Bespalov V.I., Gurova O.S. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, № 3. URL: ivdon.ru/ magazine/ archive/n3y2013/ 1963.

7. Daniela Vallero. Fundamentals of Air Pollution fourth edition. Civil and Environmental Engineering Department Pratt School of Engineering Duke University, Durham, North Carolina, 2007. 156 p.

8. Romanjuk T.F. Tehnologija proizvodstva stroitel'nyh materialov [Production technology of construction materials]. Tomsk: Federal'noe agentstvo po obrazovaniju, Tomskij gos. arhitekturno-stroitel'nyj un-t, 2006.154 p.

9. Bespalov V.I., Gurova O.S., Samarskaja N.S., Paramonova O.N. Promyshlennaja jekologija [Industrial ecology]. Rostov n/D: Rost. gos. stroit. un-t, 2009. 88 p.

10. Bespalov V.I., Gurova O.S., Meshherjakov S.V. Processy i apparaty snizhenija zagryaznenija vozduшной sredy [Processes and equipment for reduction of air pollution]. Rostov-na-Donu: Rost. gos. stroit. un-t, 2014.112 p.