

## Математическое описание результирующих параметров процесса пылеподавления пенным аэрозолем на ленточных конвейерах предприятий строительной индустрии

*О.С. Гурова*

*Ростовский Государственный строительный университет*

**Аннотация:** В статье представлено математическое описание эффективности процесса пылеподавления пенным аэрозолем на ленточных конвейерах предприятий стройиндустрии. Полученная параметрическая зависимость эффективности пылеподавления как результирующего параметра пенного способа обеспыливания обеспечит возможность прогнозного расчёта технологических параметров рассматриваемого процесса пылеподавления с учётом особенностей взаимодействия пылевого аэрозоля с пузырьками пены, а также может использоваться в качестве прогнозного критерия санитарно-гигиенической и экологической оценки выбранной технологии пылеподавления.

**Ключевые слова:** Пылеподавление, пенный аэрозоль, пылевой аэрозоль, эффективность пылеподавления.

Одним из основных видов технологического оборудования предприятий строительной индустрии являются конвейерные линии, к которым в большинстве случаев относятся ленточные транспортеры, которые, в свою очередь, являются неотъемлемым технологическим элементом бетоносмесительных участков (БСУ) заводов по изготовлению железобетонных изделий и конструкций (ЖБИиК) [1]. В рабочей зоне ленточных транспортеров наблюдается интенсивное образование и выделение пыли. В настоящее время наиболее приемлемой технологией пылеподавления на участках ленточных транспортёров предприятий строительной индустрии является применение пены, прежде всего, в аэрозольном состоянии.

Математическое описание процесса пылеподавления для условий эксплуатации ленточных транспортёров БСУ заводов ЖБИиК, сущность

---

которого заключается в использовании пенного аэрозоля, выполняющего функции локализирующей и транспортирующей на очистку дисперсной системы, выполнено с учётом упругих свойств пузырьков пены, а также параметров возврата в это сырьё пылевых частиц за счёт различных физических механизмов их захвата [2,3]. Кроме того, параметрическая зависимость эффективности пылеподавления как результирующего параметра пенного способа обеспыливания обеспечит возможность прогнозного расчёта технологических параметров рассматриваемого процесса пылеподавления с учётом особенностей взаимодействия пылевого аэрозоля с пузырьками пены.

Известные зависимости эффективности пылеподавления пенным способом [4,5] на основе применения пенного аэрозоля как результата реализации процесса привязаны к конкретным производственным условиям, пеногенерирующему оборудованию и недостаточно полно отражают все стадии процесса взаимодействия пылевого аэрозоля с пеной.

Хотя, эффективность пылеподавления пенным способом с учетом его многостадийности, можно определить по общей формуле для случайных независимых событий согласно теории вероятности [6]:

$$E_{эф} = 1 - (1 - E_1) \cdot (1 - E_2) \cdot (1 - E_3) \cdot (1 - E_4), \quad (1)$$

где  $E_1, E_2, E_3, E_4$  - постадийные составляющие эффективности  $E_{эф}$ .

Параметр  $E_1$  характеризует захват частиц пенным аэрозолем ( $I_n > 0$ ) пыли пузырьками пены на первой стадии взаимодействия под действием инерционных сил и описывается коэффициентом инерционного осаждения  $E_{ин}$ :

$$E_1 = E_{ин}. \quad (2)$$

Параметр  $I_n$  характеризует расстояние между соседними пузырьками пены в пенном аэрозоле, а коэффициент  $E_{ин}$  определяется:

---

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

$$E_{un} = Stk / Stk + A; \quad (3)$$

- если  $v_n > v_{dp}$ , то процесс дробления пузырьков носит массовый характер, поэтому:

$$E_{un} = 0. \quad (4)$$

Число Стокса определяется по известной формуле:

$$Stk = d_u \cdot v \cdot \rho_u / 18 \cdot \mu_v \cdot L, \quad (5)$$

где  $d_u$  – диаметр частиц, м;  $v$  – скорость невозмущенного потока, набегающего на препятствие, м/с;  $\rho_u$  – плотность пыли, кг/м<sup>3</sup>;  $\mu_v$  – коэффициент динамической вязкости, равный  $1,82 \cdot 10^{-6}$  Па·с;  $L$  – характерный размер обтекаемого препятствия, м, который для пенного аэрозоля ( $I_n > 0$ ) соответствует диаметру пенного пузырька  $D_n$ :

$$L = D_n. \quad (6)$$

С учетом экспериментальных данных и методики [7] получена зависимость коэффициента  $A$  от соотношения размеров пылевых частиц и их критического значения  $d_{кр}$  применительно к пенному способу в случае применения пенного аэрозоля ( $I_n > 0$ ):

$$A = 10^{n_2 a}, \quad (7)$$

где  $n_2 = 1$ , при  $v_n = v_{кр}$ .

В формуле (7) коэффициент  $a$  равен 1 и не влияет на величину коэффициента  $A$ , если отсутствуют ограничения свободному распространению пенного аэрозоля и происходит полное перекрытие пылевого потока пенным аэрозолем.

По аналогии с распространением капельного аэрозоля существует два пограничных условия скоростей пенного аэрозоля  $v_{кр}$  и  $v_{др}$ . при значениях скорости пенного аэрозоля, меньших  $v_{кр}$ , процесс дробления пузырьков проявляется слабо, только в единичных случаях.

При скорости  $v_{др}$  пенный аэрозоль разрушается, что приводит к прекращению процесса захвата пылевых частиц пенными пузырьками.

Скорость встречи пылевых частиц с пузырьками пенного аэрозоля определяется скоростью пенных пузырьков в аэрозоле  $v_n$ , полученных с помощью форсунки:

$$v_n = \begin{cases} \frac{4Q_p}{\pi \cdot d_c^2}, & \text{при } H_B=0, \\ \frac{4(Q_p + Q_B)}{\pi \cdot d_c^2}, & \text{при } H_B \neq 0, \end{cases} \quad (8)$$

где  $H_с$ - давление сжатого воздуха, подаваемого к форсунке, Па;  $Q_с$  – расход сжатого воздуха, подаваемого к форсунке, м<sup>3</sup>/с;  $Q_p$  – расход раствора пенообразователя, м<sup>3</sup>/с;  $d_c$  – диаметр сопла форсунки, м.

Анализ основных параметров пенообразования позволил получить для расчета следующие зависимости среднего диаметра пузырьков  $D_n$  в пенном аэрозоле ( $I_n > 0$ ) при скоростях воздушного потока  $v_{сн} < 1$  м/с, что характеризует открытый источник пылевыделения:

$$D_n = \begin{cases} 3,24 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\sqrt{d_c}}{\sqrt{H_p \cdot 10^{-6}}}, & \text{при } H_B=0, \\ 3,24 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\sqrt{d_c}}{\sqrt{z \cdot tg \alpha/2 \cdot 5 \cdot 10^{-7} (H_p + H_B)}}, & \text{при } H_B \neq 0, \end{cases} \quad (9)$$

где  $\alpha$  – корневой угол раскрытия факела орошения, град;  $z$  – количество сопловых отверстий в форсунке (оросителе), шт.;  $H_p$  – давление раствора

Расход раствора пенообразователя  $Q_p$  при получении пены форсункой:

$$Q_p = \begin{cases} \frac{\mu \cdot \pi \cdot d_c^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2H_p}{\rho_p}}, & \text{при } H_B=0, \\ \frac{\mu \cdot \pi \cdot d_c}{4} \cdot \sqrt{\frac{(H_p + H_B)}{\rho_p}}, & \text{при } H_p \neq 0, H_B \neq 0, \\ \frac{\mu \cdot \pi \cdot d_c^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 9,98 \cdot 10^{-7} \cdot H_B \cdot d_c^{-2,617}}{\rho_p}}, & \text{при } H_p=0, \end{cases} \quad (10)$$

где  $\mu$  - коэффициент расхода сопла оросителя, ;  $\rho_p$  - плотность раствора пенообразователя, кг/м<sup>3</sup>.

Для пылеподавления параметр  $E_2$ , связанный с экранирующим механизмом, равен 0, так как основным механизмом является захват частиц пыли пенным аэрозолем, который характеризуется параметром  $E_3$ , зависящим, главным образом, от свойств пены и скорости встречи этих частиц с пузырьками пены [8]:

$$E_3 = 1 - \exp \left[ -0,693 \left( \frac{v_{кр}^3}{v} \right)^2 \right], \quad (11)$$

где  $v_{кр}^3$  - критическая скорость частицы, при которой пузырек может разрушиться при экранирующем (упругом) взаимодействии.

Значение  $v_{кр}^3$  определено с учетом упругих свойств пленки пузырька:

$$v_{кр}^3 = \sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma \cdot d_c / m_c} \left[ \delta / \delta_{кр} \cdot (1 + d_c / D_n \cdot (d_c + \delta_{кр})) - 1 \right] \quad (12)$$

где  $\delta, \delta_{кр}$  - соответственно средняя и критическая толщина пленок в пенных пузырьках, м;  $m_c$  - масса частицы пыли, кг, значение которой зависит от плотности и размеров частицы, определяется по формуле:

$$m_c = \pi \cdot d_c \cdot \rho_c / 6$$

(13)

Захват частиц пыли пенным аэрозолем ( $I_n > 0$ ) под действием электрических сил характеризуется параметром  $E_4$ , для которого на основе анализа экспериментальных данных, представленных в работе [9, 10], получена следующая зависимость:

$$E_4 = 0,032 \cdot q_0 \cdot \sqrt{\frac{D_n \cdot \rho_p}{Q_p \cdot d_q \cdot \mu_g \cdot v}}, \quad (14)$$

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

С учетом уравнений (2)-(14) зависимость (1) для эффективности пылеподавления пенным аэрозолем ( $I_n > 0$ ) принимает вид:

$$E_{эф} = 1 - \left( d_q \cdot v \cdot \rho_q - 5,76 \cdot q_0 \sqrt{\frac{\mu_g \cdot D_n \cdot \rho_q}{Q_p \cdot d_q \cdot v}} \right) / (d_q \cdot v \cdot \rho_q + 180 \cdot \mu_g \cdot D) \cdot \exp \left[ -7,48 \cdot \sigma / v^2 \cdot \rho_q \cdot \left( 1/d_q + 2,1 \cdot d_q / D_n \cdot (d_q + 4 \cdot 10^{-7}) \right) \right] \quad (15)$$

Таким образом, полученная параметрическая зависимость эффективности пылеподавления пенным аэрозолем учитывает свойства пылевых частиц, пузырьков пены, окружающей воздушной среды и может использоваться в качестве прогнозного критерия санитарно-гигиенической и экологической оценки выбранной технологии пылеподавления для ленточных транспортеров БСУ заводов ЖБИиК.

### 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. 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.
  3. Саранчук В.И., Рекун В.В. Физико-химические основы гидрообеспыливания и предупреждения взрывов угольной пыли.- Киев: Наук. Думка, 1984.-216 с.
  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. 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.
  6. 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.
  7. Гельфанд Ф.М., Журавлев В.П. Новые способы борьбы с пылью в угольных шахтах. – М.: Недра, 1975.- 288 с.
  8. Справочник по борьбе с пылью в горнодобывающей промышленности. Под ред. Кузьмича. М.: Недра, 1982.-240 с.
  9. 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.
  10. Bepalov V.I., Gurova O.S., Samarskaya N.S., Yudina N.V. (2015). Assessment of Ecological Efficiency and Energy Efficiency of Foam Use at the
-



Construction Industry Enterprises by Emission Cleaning Process// Biosciences biotechnology research Asia, August 2015. Pp.1587-1596.

### References

1. Bepalov V.I., Gurova O.S. Nauchnoe obozrenie. 2012. №6. Pp. 193-196.
2. 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.
3. Saranchuk V.I., Rekun V.V. Fiziko-himicheskie osnovy gidroobespylivaniya i preduprezhdeniya vzryvov ugol'noj pyli [Physico-chemical basis of hydro abrasive and prevention of coal dust explosions]. Kiev: Nauk. Dumka, 1984. 216 p.
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. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, № 3. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1963](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1963).
6. Bepalov V.I., Gurova O.S., Samarskaja N.S. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, № 4. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1963](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1963).
7. Gel'fand F.M., Zhuravlev V.P. Novye sposoby bor'by s pyl'ju v ugol'nyh shahtah [New methods of dust control in coal mines]. M.: Nedra, 1975. 288 p.
8. Spravochnik po bor'be s pyl'ju v gornodobyvajushhej promyshlennosti [Handbook on dust control in the mining industry]. Pod red. Kuz'micha. M.: Nedra, 1982. 240 p.
9. 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.
10. Bepalov V.I., Gurova O.S., Samarskaya N.S., Yudina N.V. (2015). Biosciences biotechnology research Asia, August 2015. Pp.1587-1596.