

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №6 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-6>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/150TVN615.pdf>

DOI: 10.15862/150TVN615 (<http://dx.doi.org/10.15862/150TVN615>)

УДК 502.3:504.5-03

Самарская Наталья Сергеевна

ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет»
Россия, Ростов-на-Дону
Доцент кафедры «Инженерная защита окружающей среды»
Кандидат технических наук
E-mail: izos3402-rgsu@mail.ru

Беспалов Вадим Игоревич

ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет»
Россия, Ростов-на-Дону¹
Заведующий кафедрой «Инженерная защита окружающей среды»
Доктор технических наук
Профессор
E-mail: izos3402-rgsu@mail.ru

Гурова Оксана Сергеевна

ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет»
Россия, Ростов-на-Дону
Доцент кафедры «Инженерная защита окружающей среды»
Кандидат технических наук
E-mail: izos3402-rgsu@mail.ru

¹ 344022, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162, ауд. 1-406

Оценка экологической эффективности и энергетической экономичности применения пены в виде слоя пены для очистки выбросов предприятий строительной индустрии от токсичных компонентов

Аннотация. В статье авторы проводят оценку экологической эффективности и энергетической экономичности одной из наиболее перспективных технологий реализации процесса очистки выбросов предприятий строительной индустрии гидродинамическим методом с помощью слоя пены, которая может быть получена за счет применения сетчатых пеногенераторов или за счет организации барботажа. В статье представлены технологические схемы реализации процесса очистки вентиляционного воздуха (отходящих газов) пенным способом при получении пены с помощью сетчатых пеногенераторов и барботажем. Описан принцип действия каждой из них. Авторами проанализирована физическая сущность гидродинамического метода очистки вентиляционного воздуха и отходящих газов от загрязняющих веществ (токсичных компонентов) пенным способом с применением слоя пены и пенного аэрозоля. Исследован процесс очистки воздуха пенным слоем, который, по мнению авторов, целесообразно разделить на два основных этапа, характеризующихся одним или несколькими стадиями взаимодействия частиц загрязняющего вещества (токсичного компонента) с пеной. Для каждого этапа представлены параметрические зависимости, описывающие движение частиц загрязняющего вещества (токсичного компонента) навстречу пенному слою и сближение этих частиц загрязняющего вещества с пенными пузырьками до расстояний действия межмолекулярных сил. В результате получены параметрические зависимости для энергоемкостного показателя и эффективности процесса очистки воздуха в случае применения каждого из рассматриваемых способов.

Ключевые слова: предприятия строительной индустрии; очистка отходящих и выхлопных газов; гидродинамический метод очистки; токсичные компоненты; вентиляционный воздух; экологическая эффективность; энергетическая экономичность; способы очистки отходящих газов; средства очистки выбросов; слой пены.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Самарская Н.С., Беспалов В.И., Гурова О.М. Оценка экологической эффективности и энергетической экономичности применения пены в виде слоя пены для очистки выбросов предприятий строительной индустрии от токсичных компонентов // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №6 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/150TVN615.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/150TVN615

Статья опубликована 25.11.2015.

Предприятия строительной индустрии являются значимым источником загрязнения компонентов окружающей среды, в первую очередь атмосферного воздуха. Они ежегодно выбрасывается в атмосферный воздух более 4 млн. тонн загрязняющих веществ, содержащих 85 загрязняющих пылевых компонентов, в том числе 2,4 млн. тонн или 58% твердой неорганической пыли, которая представляет собой мельчайшие твердые частицы и оказывает негативное воздействие на объекты инфраструктуры города и его население [1-8].

В практике охраны окружающей городской среды для предприятий строительной индустрии приходится рассчитывать, проектировать и конструировать инженерные системы снижения загрязнения воздушной среды, наиболее значимой из которых является элемент очистки вентиляционного воздуха и отходящих газов от загрязняющих веществ (ЗВ) [9, 10].

Особого внимания заслуживают вопросы, связанные с выбором оптимальной технологии (метод-способ-вид) [11] и расчета соответствующих технологических параметров реализации процесса очистки вентиляционного воздуха и отходящих газов от загрязняющих веществ (токсичных компонентов) для предприятий строительной индустрии. Одной из наиболее эффективных и весьма перспективных технологий реализации процесса очистки является применение гидродинамического метода очистки пенным способом, когда в качестве воздействующей на загрязняющие вещества (токсичные компоненты) используют дисперсную систему в форме пены, которая в активной зоне реализации процесса очистки представлена в виде слоя пены (пузырьки расположены вплотную друг к другу и имеют общие стенки из плёнки жидкости).

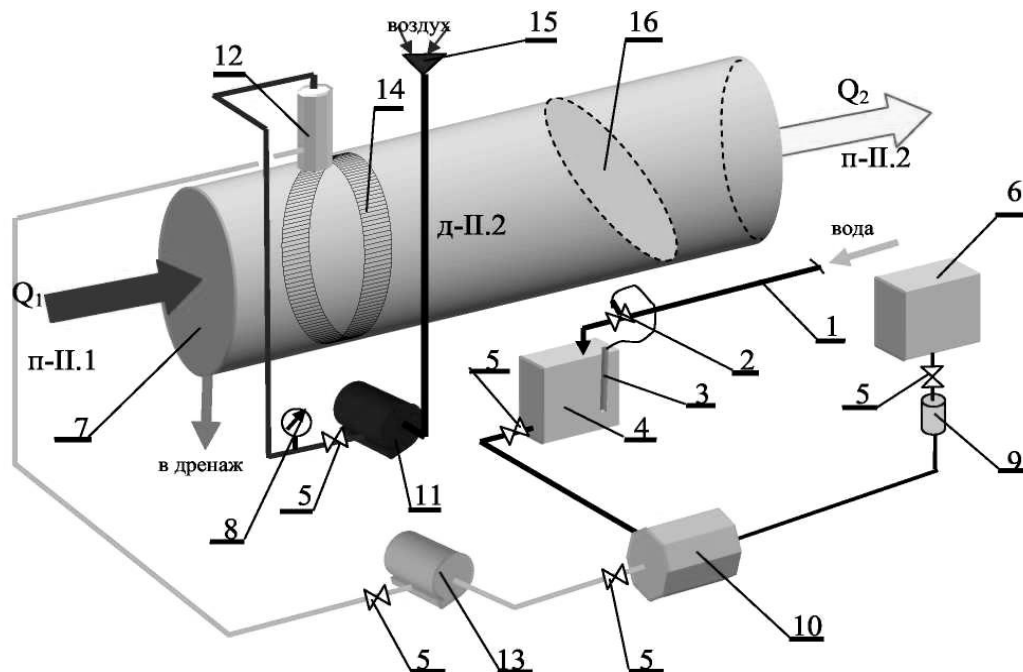
Методы исследования базируются на основных положениях теории дисперсных систем, системного анализа и теории моделирования систем, аналитическим обобщением известных научных и практических результатов, методах теории вероятности и математической статистики, экспертных оценках и других методах.

Для оценки экологической эффективности и энергетической экономичности применения гидродинамического метода очистки вентиляционного воздуха и отходящих газов от загрязняющих веществ (токсичных компонентов) пенным способом с применением слоя пены при получении пены на сетке, либо барботажем рассмотрим физическую сущность процессов. Физическая сущность гидродинамического метода заключается в целенаправленном воздействии на поступающие в активную зону очистки частицы загрязняющего вещества (токсичного компонента) заранее подготовленной по параметрам «внешней» дисперсной системой, представленной слоем пены, обладающей смачивающими свойствами, обеспечивающими разделение дисперсной фазы (частиц загрязняющего вещества) и вентиляционного воздуха (основного потока отходящих газов) с последующим выбросом очищенного воздуха (очищенных газов) в атмосферу.

Технологическая схема реализации гидродинамического метода очистки пенным способом с применением слоя пены при получении пены на сетке представлена на рисунке 1.

Принцип действия технологической схемы (рисунок 1) заключается в следующем. Поток загрязненного воздуха (промежуточная п-П.1 система) входит в активную зону очистки 7. Вода из магистрального хозяйственного водопровода 1 через электромагнитный клапан 2 поступает в емкость 4, уровень воды в которой поддерживается автоматически с помощью РСУ 3. Из емкости 4 вода подается к смесителю 10. Одновременно пенообразователь из емкости его хранения 6 подается в дозатор 9, а затем - к смесителю 10. Дозатор 9 обеспечивает требуемый расход пенообразователя, а смеситель 10- заданную концентрацию раствора пенообразователя. С помощью насосной установки 13 готовый раствор пенообразователя подается на сетку пеногенератора 12. При этом воздух из внешней воздушной среды с помощью вентилятора 11 через воздухозаборное устройство 15 также

подается в корпус пеногенератора 12. В результате из горловины пеногенератора 12 непосредственно в активную зону очистки 7 поступает поток пены с ярко выраженными смачивающими свойствами, формируя фильтрующий слой, стабильность которого обеспечивается армированным участком 14 и который смачивает частицы ЗВ, осаждая их из воздушного потока и обеспечивая его очистку.

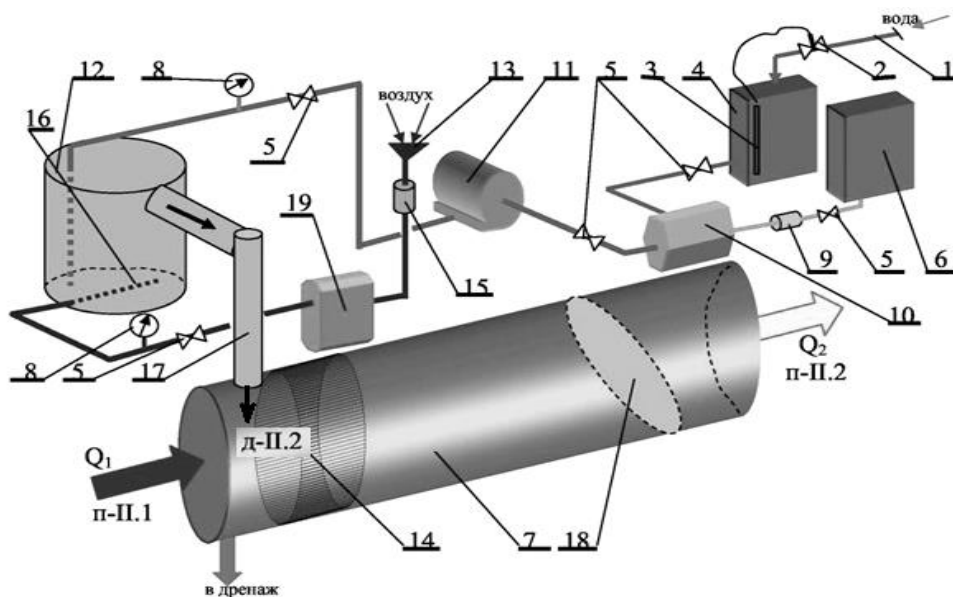


1- магистральный хозяйственный водопровод; 2- электромагнитный клапан; 3- регулятор среднего уровня (PCY); 4- емкость для рабочей жидкости; 5- запорно-регулирующая арматура; 6- емкость хранения пенообразователя; 7- активная зона очистки; 8- манометр; 9- дозатор пенообразователя; 10- смеситель; 11- вентилятор; 12- сетчатый пеногенератор; 13- насосная установка; 14- армированный участок активной зоны очистки; 15- воздухозаборное устройство; 16- пеноуловитель

Рисунок 1. Технологическая схема реализации процесса очистки вентиляционного воздуха (отходящих газов) пенным способом при получении пены в сетчатых пеногенераторах (разработано авторами)

После очистки воздушный поток (промежуточная п-П.2 система) покидает активную зону очистки. Для предотвращения уноса пены из активной зоны очистки 7 установлен пеноуловитель 16. Образующийся шлам направляют в дренаж. Для обеспечения возможности обслуживания дозатора 9, смесителя 10, вентилятора 11 и насосной установки 13 предусмотрена ЗРА 5. Для обеспечения контроля давления раствора пенообразователя перед сеткой пеногенератора 12 установлен манометр 8.

Технологическая схема реализации гидродинамического метода очистки пенным способом с применением слоя пены при получении пены барботажем представлена на рисунке 2.



1- магистральный хозяйственный водопровод; 2- электромагнитный клапан; 3- регулятор среднего уровня (PCY); 4- емкость для рабочей жидкости; 5- запорно-регулирующая арматура; 6- емкость хранения пенообразователя; 7- активная зона очистки; 8- манометр; 9- дозатор пенообразователя; 10- смеситель; 11- насосная установка; 12- барботажный пеногенератор; 13- воздухозаборное устройство; 14- армированный участок активной зоны очистки; 15- воздухоочиститель; 16 – перфорированный участок трубопровода сжатого воздуха; 17 – ствол подачи пены в активную зону очистки; 18 – пеноуловитель; 19- компрессорная установка

Рисунок 2. Технологическая схема реализации процесса очистки вентиляционного воздуха (отходящих газов) пенным способом при получении пены барботажем (разработано авторами)

Принцип действия технологической схемы заключается в следующем. Вода из магистрального хозяйственного водопровода 1 через электромагнитный клапан 2 поступает в емкость 4, уровень воды в которой поддерживается автоматически с помощью PCY 3. Из емкости 4 вода подается к смесителю 10. Одновременно пенообразователь из емкости его хранения 6 подается в дозатор 9, а затем - к смесителю 10. Дозатор 9 обеспечивает требуемый расход пенообразователя, а смеситель 10 - заданную концентрацию раствора пенообразователя. С помощью насосной установки 11 готовый раствор пенообразователя подается в емкость барботажного пеногенератора 12. При этом воздух из внешней воздушной среды с помощью компрессорной установки 19 через воздухозаборное устройство 13 и воздухоочиститель 15 подается под давлением в перфорированный участок 16 трубопровода сжатого воздуха, пузырьки которого барботируют через слой раствора пенообразователя в корпусе пеногенератора 12, образуя на поверхности раствора слой пены, которая по стволу 17 поступает непосредственно в активную зону очистки 7, формируя фильтрующий слой пены с ярко выраженными смачивающими свойствами, стабильность которого обеспечивается армированным участком 14 и который смачивает частицы ЗВ, осаждая их из воздушного потока и обеспечивая его очистку. Для предотвращения уноса пены из активной зоны очистки 7 установлен пеноуловитель 18. Образующийся шлам направляют в дренаж. Для обеспечения возможности обслуживания дозатора 9, смесителя 10, насосной установки 11 и компрессорной установки 19 предусмотрена ЗРА 5. Для обеспечения контроля давления раствора пенообразователя и давления сжатого воздуха перед пеногенератором 12 установлены манометры 8.

Для решения задачи, связанной с оценкой экологической эффективности и энергетической экономичности технологии очистки вентиляционного воздуха (отходящих газов), основанной на применении пены в виде сплошного слоя, необходимо предварительно выполнить математическое описание процесса очистки этой технологией, которое сводится к получению параметрических зависимостей эффективности и энергоемкостного показателя [12] рассматриваемого процесса на основе изучения физических особенностей его протекания, основных свойств загрязняющих веществ (токсичных компонентов), свойств пены и ряда других факторов, влияющих на характер процесса очистки.

Для определения энергетических параметров, характеризующих энергию, расходуемую на захват частиц загрязняющего вещества (токсичного компонента) пенным слоем, нами выделены основные физические механизмы взаимодействия этих частиц с пузырьками пены.

Процесс очистки воздуха пенным слоем целесообразно разделить на два основных этапа, характеризующихся одним или несколькими стадиями взаимодействия частиц загрязняющего вещества (токсичного компонента) с пеной.

Для первого этапа нами выделены и рассмотрены две стадии:

- движение частиц загрязняющего вещества (токсичного компонента) навстречу пенному слою;
- сближение этих частиц загрязняющего вещества (токсичного компонента) с пенными пузырьками до расстояний действия межмолекулярных сил.

На первой стадии основным видом энергии, ведущим к достижению цели процесса очистки воздуха, является кинетическая энергия частиц ЗВ, направившихся к пенному слою. Энергетический параметр, учитывающий кинетическую энергию, летящих к пенному слою частиц ЗВ, можно определить по формуле:

$$W_K = 0,5 \cdot m_c \cdot V_c^2 \cdot n' \cdot V_g / \tau_k, \text{ Вт}, \quad (1)$$

где m_c – масса частицы ЗВ, кг.

Массу частицы ЗВ определяют по их медианному диаметру d_c :

$$m_c = 0,17 \cdot d_c^3 \cdot \rho_c, \text{ кг}, \quad (2)$$

где ρ_c – плотность материала частиц ЗВ, кг/м³; n' – число частиц ЗВ в единице объема, которые вступают в контакт с пенным слоем, 1/м³.

Значение n' рассчитывают по формуле:

$$n' = n_0 \cdot k_{ин} = c_n \cdot k_{ин} / m_c, \text{ 1/м}^3, \quad (3)$$

где n_0 – общее количество частиц ЗВ, направленных в активную зону очистки, в единице ее объема, 1/м³; c_n — концентрация частиц ЗВ во входном сечении активной зоны очистки, кг/м³; $k_{ин}$ - коэффициент инерционного захвата частиц ЗВ пенным слоем.

Условно приняв, что процесс захвата частиц ЗВ пенным слоем аналогичен оседанию частиц на плоской пластине, коэффициент инерционного захвата частиц ЗВ пенным слоем определяют по формуле:

$$k_{ин} = \frac{Stk}{Stk + A}, \quad (4)$$

где A – безразмерный коэффициент, в оценке которого у разных авторов наблюдаются значительные расхождения, объясняемые зависимостью его от размеров частиц ЗВ и скорости их движения.

Критерий Стокса для пенного слоя определяют по формуле:

$$Stk = d_q^2 \cdot V_q \cdot \rho_q / 9 \cdot \mu_g \cdot l, \quad (5)$$

где μ_g - динамическая вязкость воздуха, $1,82 \cdot 10^{-5}$, Па·с.

Скорость частиц ЗВ V_q во входном сечении в активную зону очистки зависит от скорости движения основного потока.

Подставив зависимости (2)-(5) в формулу (1) и выполнив соответствующие математические преобразования, получим:

$$W_k = \frac{0,5 \cdot V_q^4 \cdot c_{II} \cdot \rho_q \cdot S_u}{V_q \cdot \rho_q + 2,668 \cdot 10^8 \cdot h \cdot \mu_g \cdot d_q^{0,404}}, \text{ Вт.} \quad (6)$$

На второй стадии, когда частицы ЗВ сближаются с пенными пузырьками до расстояний действия межмолекулярных сил, их движению препятствует возникающее между частицами и пузырьками расклинивающее давление, связанное с образованием адсорбционных оболочек воздуха на частицах и пузырьках и особенностями их взаимодействия на границе раздела фаз. Эта стадия первого этапа процесса очистки характеризуется энергетическим параметром W_M , учитывающим работу сил адгезии, связанных с поверхностными явлениями:

$$W_M = \frac{0,6 \cdot W_d \cdot f_n \cdot V_a}{\pi \cdot h^2 \cdot \tau_m}, \text{ Вт,} \quad (7)$$

где $W_d \sim 10^{-28}$ – энергия дисперсионного взаимодействия, характеризующая силы притяжения между частицей ЗВ и пенным пузырьком, Дж; f_n – площадь поверхности межмолекулярного взаимодействия частицы ЗВ и пузырька, определяемая по формуле:

$$f = 0,3 \cdot \pi \cdot d_q^2, \text{ м}^2, \quad (8)$$

где V_a – активная зона пенного слоя, т.е. объем пенного слоя с наибольшей интенсивностью захвата частиц ЗВ, определяемая по формуле:

$$V_a = 0,5 \cdot D_{II} \cdot S_u, \text{ м}^3, \quad (9)$$

где D_{II} - средний диаметр пенного пузырька, м, определяемый в зависимости от свойств пены (кратности, плотности и стойкости), зависящих от способа ее получения; τ_m – время межмолекулярного взаимодействия частицы ЗВ с пенным пузырьком, определяемое по формуле:

$$\tau_m = 3 \cdot f \cdot \mu_g / (4 \cdot P_c \cdot r^2 \cdot \pi), \text{ с,} \quad (10)$$

где P_c – сила, сталкивающая частицы ЗВ с пузырьками пены, которая определяется, главным образом, кинетической энергией частицы, расходуемой на преодоление расстояния межмолекулярных сил:

$$P_c = 0,26 \cdot V_r^2 \cdot \rho_q \cdot d_q^3 \cdot r, \text{ Н,} \quad (11)$$

где r – расстояние действия межмолекулярных сил, м.

Подставив (8) - (11) в (7), получим:

$$W_M = \frac{3,66 \cdot 10^{-32} \cdot C_{II} \cdot V_q^3 \cdot D_{II} \cdot S_u \cdot \rho_q}{d_q^2 \cdot h^2 \cdot \pi \cdot (V_q \cdot \rho_q + 2,668 \cdot 10^8 \cdot h \cdot \mu_e \cdot d_q^{-0,404})}, \text{ Вт.} \quad (12)$$

Второй этап процесса очистки воздуха пенным слоем начинается в момент возникновения непосредственного контакта между частицей ЗВ и пузырьком пены. При этом полезно расходуемой является энергия противодействия пены потоку ЗВ. Здесь можно выделить два основных, взаимосвязанных физических механизмов (стадии):

- эластичное взаимодействие частиц ЗВ и пузырьков пены;
- смачивание частиц ЗВ слоем пены.

В зависимости от свойств полученной пены и захватываемых частиц ЗВ каждый из механизмов проявляется в различной степени.

Параметр, учитывающий энергию упруго-эластичного взаимодействия пены и частиц ЗВ, можно представить в виде суммы двух энергетических параметров W_y и W_p , описывающих энергии, полезно расходуемые при эластичном и смачивающем механизмах взаимодействия.

Упруго-эластичный механизм взаимодействия частицы ЗВ с пузырьком пены заключается в том, что частица, соприкоснувшись с пузырьком, растягивает его поверхность в месте контакта, образуя углубление. Исходя из этого, энергетический параметр определяют в зависимости от давления внутри пузырька, площади поверхности взаимодействия частицы с пузырьком:

$$W_D = 2 \cdot \pi \cdot \sigma \cdot d_q^2 \cdot V_q \cdot n' \cdot k_{n1} \cdot V_a \cdot \beta_3 / D_{II}, \text{ Вт,} \quad (13)$$

где σ – поверхностное натяжение раствора пенообразователя, Дж/м²; k_{n2} – коэффициент захвата частиц при упруго-эластичном механизме взаимодействия.

Известно, что коэффициент захвата частиц ЗВ пеной экспоненциально зависит от основных параметров движения этих частиц. Для упруго-эластичного механизма взаимодействия пенного слоя и частиц ЗВ получено уравнение:

$$k_{n1} = \exp\left(-0,2 \cdot V_r \cdot \sqrt{\frac{d_r \cdot \rho_r}{\sigma \cdot \psi}}\right), \quad (14)$$

где ψ — коэффициент упруго-эластичного взаимодействия, определяемый по формуле:

$$\psi = \frac{\delta}{\delta_{кр}} \cdot \left(1 + \frac{d_r}{D_{II} \cdot (d_r + \delta_{кр})}\right) - 1, \quad (15)$$

где β_3 — коэффициент, характеризующий долю упруго-эластичного механизма взаимодействия частиц ЗВ с пеной при очистке воздуха пенным слоем. Коэффициент β_3 зависит от краевого угла смачивания частиц θ и поверхностного натяжения раствора и рассчитывается по формуле:

$$\beta_3 = 76,5 \cdot \theta^{0,815} \cdot \sigma^{3,261} \quad (16)$$

Подставив (14) - (16) в (13), получим выражение:

$$W_y = \frac{291,98 \cdot \pi \cdot \sigma \cdot V_q^2 \cdot c_{II} \cdot \theta^{0,815} \cdot \sigma^{3,261} \cdot \exp\left(-0,2 \cdot V_r \sqrt{\frac{d_q \cdot \rho_q}{\sigma \cdot \psi_r}}\right)}{d_q \cdot D_{II} \cdot (V_q \cdot \rho_q + 2,668 \cdot 10^8 \cdot h \cdot \mu_g \cdot d_q^{-0,464})} \quad (17)$$

Энергетический параметр, учитывающий энергию смачивания, определяется по формуле:

$$W_p = 0,5 \cdot \sigma \cdot (1 - \cos \theta) \cdot \pi \cdot d_q^2 \cdot n' \cdot k_{n2} \cdot (1 - \beta) / \tau_p, \quad (18)$$

где k_{n2} — коэффициент захвата частиц ЗВ пеной при смачивающем механизме, для которого:

$$k_{n2} = \exp\left(-0,2 \cdot V_r \cdot \sqrt{\frac{\rho_n \cdot D_n}{\sigma \cdot (1 - \cos \theta)}}\right), \quad (19)$$

где ρ_n — плотность пены, кг/м³; τ_p — время растекания раствора по поверхности частицы, с.

Значение τ_p определяют по формуле, полученной в результате обработки экспериментальных данных:

$$\tau_p = 10^6 \cdot \sigma^{1,76} \cdot \theta^{0,44} \cdot D_n^{-1,5}, \text{ с.} \quad (20)$$

Тогда энергетический параметр W_p определяют по формуле:

$$W_p = \frac{291,98 \cdot \pi \cdot \sigma \cdot V_q^2 \cdot c_{II} \cdot \theta^{0,815} \cdot \sigma^{3,261} \cdot \exp\left(-0,2 \cdot V_r \sqrt{\frac{d_q \cdot \rho_q}{\sigma \cdot \psi_r}}\right)}{d_q \cdot D_{II} \cdot (V_q \cdot \rho_q + 2,668 \cdot 10^8 \cdot h \cdot \mu_g \cdot d_q^{-0,464})} \quad (21)$$

Путем экспериментальных и теоретических исследований установлено, что применение электрoзаряженной пены позволяет существенно повысить эффективность очистки воздуха, когда на всех этапах процесса очистки действуют электрические силы. Параметр, учитывающий энергию электрических сил, определяют по формуле:

$$W_s = \frac{3,25 \cdot 10^3 (W_k + W_{u.n} + W_{u.ч} - W_{u.г}) c_n q_{nn}^{0,65} (V_g + V_a)}{\tau_0 d_q^3 \rho_q} \quad (22)$$

где $W_k, W_{u.n}, W_{u.ч}, W_{u.г}$ — параметры, учитывающие кулоновскую силу, силы индукции между зарядом на пене и индуцированным зарядом на частице, силы индукции между зарядом на частице и индуцированным зарядом на пене, силы взаимодействия между частицами соответственно.

Параметры, учитывающие затраты энергии на организацию воздушного потока для образования пены, подачу в пеногенератор под давлением раствора пенообразователя, а также на электроподзарядку пены определяют по следующим формулам:

- для подачи воздуха на образование пены с учетом уравнения неразрывности потока:

$$N_g = 0,32 \mu_1 \pi d_g^2 H_g^{1,5} t, \text{ Вт;} \quad (23)$$

- для подачи раствора пенообразователя к пеногенератору:

$$N_6 = 3,54 \mu_2 \pi d_p^2 H_p^{1,5} \left(c_{no} (\rho_{no} - 998) + 9,98 \cdot 10^4 \right)^{0,5} t, \text{ Вт}, \quad (24)$$

где μ_1, μ_2 – коэффициенты расхода выходных отверстий для воздуха и раствора; d_6, d_p – диаметры сечений подводящих патрубков оросительного устройства (форсунки) для подачи воздуха и раствора пенообразователя, м; ρ_{no} – плотность пенообразователя, кг/м³; H_6, H_p – давления воздуха и раствора, Па; t – количество сетчатых или барботажных пеногенераторов, необходимых для создания пенного слоя по всему поперечному сечению активной зоны очистки воздуха.

Энергетический параметр N_3 при искусственной электроподзарядке пены равен по величине мощности источника напряжения.

В результате проведенных исследований (Bespalov V.I *et al.*, 2013) получена зависимость энергоемкостного показателя процессаочистки воздуха пенным слоем:

- параметрическая зависимость эффективности пенным способом при получении пены на сетке или барботажем:

$$E_{эф(но)}^{(эд)} = 1 - \frac{\rho_n \cdot D_n^2 \cdot \mathcal{G}_n}{9 \mu_6 \cdot l \left(\frac{\rho_n \cdot D_n^2 \cdot \mathcal{G}_n}{9 \mu_6 \cdot l} + 2 \cdot 10^{n_2} \right)} \times \left(1 - \exp \left[- \frac{5,77 \cdot 10^{-2} \cdot D_n \cdot \rho_n \cdot \mathcal{G}_n^2}{\sigma_{жс} \cdot \left(\frac{\delta}{\delta_{кр}} \right) \cdot \left(1 + \frac{D_n^2}{D_{nn} \cdot (D_n + \delta_{кр})} \right)} \right] \cdot \left(1 - \exp \left[- \frac{5,77 \cdot 10^{-2} \cdot D_{nn} \cdot \rho_n \cdot \mathcal{G}_n^2}{\sigma_{жс} \cdot (1 - \cos \Theta)} \right] \right) \right) \times (1 - 1,7 \cdot 10^{-3} \cdot q_0^{0,65}), \quad (25)$$

где l – длина активной зоны очистки (зона стабильного существования пузырьков пены), м; n_2 – коэффициент, характеризующий соотношение фактического и критического для пенных пузырьков размеров частиц ЗВ; $\delta, \delta_{кр}$ – соответственно средняя фактическая и критическая толщина пленки пузырьков пены, м; q_0 – удельный электрический заряд пены, Кл/кг;

- параметрическая зависимость энергоемкостного показателя:

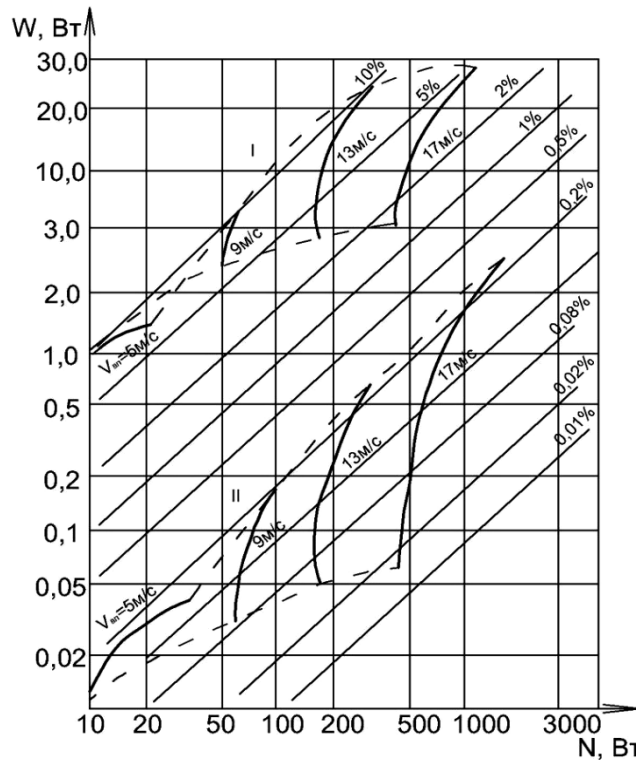
$$E_{(но)}^{(эд)} = \left(0,5 v_n^3 + \frac{1,83 \cdot 10^{-28} \cdot v_n R^2}{D_n^3 h_A \mu_6} + \frac{6 \sigma_{жс} v_n n' h_A}{\rho_n D_n D_{nn}} + \frac{12 \sigma_{жс} (1 - \cos \theta n'' h_A)}{\rho_n \tau_p D_{nn}} + \frac{1,91 \left(\sum_{k=1}^3 P_k \right) n_0 n''' F_n h_A}{D_n^3 \rho_n} \right) \times, \quad (26)$$

$$\times \frac{E_{эф(ПО)}^{(ПД)} \cdot F_n}{Q_{6n} (H_{6n} - H_{6m}) + (H_p Q_p + H_6 Q_6) i + N_{un}},$$

где F_n – площадь сечения пенообразования (подачи пены), м²; i – количество однотипных пеногенераторов, необходимое для полного перекрытия поперечного сечения активной зоны очистки, шт.; R – среднее расстояние между пузырьками пены и частицами ЗВ в активной зоне очистки, м; n_0 – удельное количество частиц ЗВ, входящих в активную зону очистки, 1/м³; n' – удельное количество частиц ЗВ, столкнувшихся с пузырьками пены и вступивших в межмолекулярное взаимодействие, 1/м³; n'' – удельное количество частиц ЗВ, на поверхности которых происходит процесс смачивания пенными пузырьками, 1/м³; n''' –

удельное количество частиц ЗВ, которые задерживаются на поверхности пузырьков пены за счет действия электрических сил, $1/\text{м}^3$.

Результаты расчетов значений энергоемкостного показателя процесса очистки вентиляционного воздуха (отходящих газов) от токсичных компонентов пенным слоем представлены на рисунке 3.



I – при пенообразовании на сетке; II – при пенообразовании барботажем

Рисунок 3. Область существования значений энергоемкостного показателя процесса очистки вентиляционного воздуха (отходящих газов) от токсичных компонентов пенным слоем (разработано авторами)

ЛИТЕРАТУРА

1. Ann T.W. Yu, Yuzhe Wu, Bibo Zheng, Xiaoling Zhang, Liyin Shen. Identifying risk factors of urban-rural conflict inurbanization: A case of China. *Habitat International*, 2014, Volume 44, 177-185.
2. Bepalov V.I., Gurova O.S., Samarskaya N.S., Lysova E.P., Mishchenko A.N. 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. Vol. 11(3), 1615-1620.
3. Bepalov V.I., Gurova O.S., Samarskaya N.S., Yudina N.V., Gevorkyants I.N. Research of the process of urban air pollution by construction industry enterprises. *Collection of scientific works SWorld.-Issue 1 Volume 3*, 15-20.
4. Kazuhiro Yuki Maricq M.M. Monitoring motor vehicle pm emissions: an evaluatio of three portable low-cost aerosol instruments. *Aerosol Science and Technology*. V. 47. № 5, 564-573.
5. Marc Antrop. Landscape change and theurbanization process in Europe. *Landscape and Urban Planning*, Volume 67, Issues 1-4, 9-26.
6. Paul Waley. Distinctive patterns of industrial urbanisation in modern Tokyo. *Journal of Historical Geography*, 2009, Volume 35, Issue 3, 405-427.
7. Qingsong Wang, Xueliang Yuan, Jian Zhang, Ruimin Mu, Huichun Yang, Chunyuan Ma. Key evaluation framework for the impacts ofurbanization on air environment – A case study. *Ecological Indicators*, 2013. Volume 24, 266-272.
8. Sukko Kim. Industrialization andurbanization: Did the steam engine contribute to the growth of cities in the United States? *Explorations in Economic History*, 2005. Volume 42, Issue 4, 586-598.
9. Vavilova T.Y. Background of regulation of planning and development of multifunctional industrial and residential areas. *Privolzhsky Scientific Journal*. 2009, № 4, 100-105.
10. Беспалов В.И., Гурова О.С. Анализ возможных применений технологий обеспыливания воздуха на предприятиях строительной индустрии. *Научное обозрение*. 2012. № 6. С. 193-195.
11. Беспалов В.И. Процессы и аппараты защиты окружающей среды. Учебное пособие / В.И. Беспалов, С.В. Мещеряков, О.С. Гурова; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Ростовский гос. строит. ун-т". Ростов-на-Дону, 2005.
12. Беспалов В.И., Гурова О.С., Самарская Н.С., Парамонова О.Н., Мищенко А.Н. Применение теории дисперсных систем для описания особенностей поведения токсичных компонентов отходящих и выхлопных газов стационарных и передвижных источников урбанизированных территорий. *Инженерный вестник Дона*. 2013. Т. 27. № 4. С. 286.

Samarskaya Natalya Sergeevna

Rostov State Building Universiny
Russia, Rostov-on-Don
E-mail: izos3402-rgsu@mail.ru

Bespalov Vadim Igorevich

Rostov State Building Universiny
Russia, Rostov-on-Don
E-mail: izos3402-rgsu@mail.ru

Gurova Oksana Sergeevna

Rostov State Building Universiny
Russia, Rostov-on-Don
E-mail: izos3402-rgsu@mail.ru

Assessment of environmental efficiency and energy efficiency of the use of foam as a layer of foam to clean the emissions of construction industry from the toxic components

Abstract. The authors assess the environmental efficiency and energy efficiency one of the most promising technologies of the implementation process of cleaning emissions of construction industry hydrodynamic method using a layer of foam, which can be obtained through the use of reticulated foam generators or through the organization of bubbling. The paper presents the implementation of technological schemes purification process of ventilation air (off-gas) method in the preparation of foam using foam mesh foam generators and bubbling. The principle of action of each of them. The authors analyzed the physical nature of the hydrodynamic method of cleaning ventilation air and flue gas from contaminants (toxic components) foam method using a layer of foam and foam aerosol. The process of cleaning the air foam layer which, according to the authors, should be divided into two main stages, characterized by one or more stages of the interaction between the particles of pollutant (the toxic component) with foam. For each stage presents parametric dependencies, describing the motion of the particles of pollutant (the toxic component) toward pennomu layer and the convergence of these pollutant particles with foam bubbles up to distances of intermolecular forces. The result obtained for the parametric dependence energoemkostnogo indicator and efficiency of air purification in the case of each of the methods discussed.

Keywords: enterprises of the construction industry; purification of waste and exhaust gases; the hydrodynamic method of cleaning; toxic components; ventilation air; environmental performance; energy efficiency; methods of flue gas cleaning; cleaners emission layer of foam.

REFERENCES

1. Ann T.W. Yu, Yuzhe Wu, Bibo Zheng, Xiaoling Zhang, Liyin Shen. Identifying risk factors of urban-rural conflict inurbanization: A case of China. *Habitat International*, 2014, Volume 44, 177-185.
2. Bepalov V.I., Gurova O.S., Samarskaya N.S., Lysova E.P., Mishchenko A.N. 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. Vol. 11(3), 1615-1620.
3. Bepalov V.I., Gurova O.S., Samarskaya N.S., Yudina N.V., Gevorkyants I.N. Research of the process of urban air pollution by construction industry enterprises. *Collection of scientific works SWorld.-Issue 1 Volume 3*, 15-20.
4. Kazuhiro Yuki Maricq M.M. Monitoring motor vehicle pm emissions: an evaluatio of three portable low-cost aerosol instruments. *Aerosol Science and Technology*. V. 47. № 5, 564-573.
5. Marc Antrop. Landscape change and theurbanization process in Europe. *Landscape and Urban Planning*, Volume 67, Issues 1-4, 9-26.
6. Paul Waley. Distinctive patterns of industrial urbanisation in modern Tokyo. *Journal of Historical Geography*, 2009, Volume 35, Issue 3, 405-427.
7. Qingsong Wang, Xueliang Yuan, Jian Zhang, Ruimin Mu, Huichun Yang, Chunyuan Ma. Key evaluation framework for the impacts ofurbanization on air environment – A case study. *Ecological Indicators*, 2013. Volume 24, 266-272.
8. Sukko Kim. Industrialization andurbanization: Did the steam engine contribute to the growth of cities in the United States? *Explorations in Economic History*, 2005. Volume 42, Issue 4, 586-598.
9. Vavilova T.Y. Background of regulation of planning and development of multifunctional industrial and residential areas. *Privolzhsky Scientific Journal*. 2009, № 4, 100-105.
10. Bepalov V.I., Gurova O.S. Analiz vozmozhnykh primeneniya tekhnologii obespylivaniya vozdukha na predpriyatiyakh stroitel'noy industrii. *Nauchnoe obozrenie*. 2012. № 6. S. 193-195.
11. Bepalov V.I. Protsessy i apparaty zashchity okruzhayushchey sredy. *Uchebnoe posobie / V.I. Bepalov, S.V. Meshcheryakov, O.S. Gurova; M-vo obrazovaniya i nauki Rossiyskoy Federatsii, Federal'noe agentstvo po obrazovaniyu, Gos. obrazovatel'noe uchrezhdenie vyssh. prof. obrazovaniya "Rostovskiy gos. stroit. un-t". Rostov-na-Donu*, 2005.
12. Bepalov V.I., Gurova O.S., Samarskaya N.S., Paramonova O.N., Mishchenko A.N. Primenenie teorii dispersnykh sistem dlya opisaniya osobennostey povedeniya toksichnykh komponentov otkhodyashchikh i vykhlopnykh gazov statsionarnykh i peredvizhnykh istochnikov urbanizirovannykh territoriy. *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2013. T. 27. № 4. S. 286.