

05.00.00 Engineering sciences

05.00.00 Технические науки

UDC 622.807

**Determination of Criteria Indicators of Liquids Atomization Mode in the System of Dust Flow Quantitative Characteristics for its Efficient Precipitation**<sup>1</sup> Lidiya Kh. Balabas<sup>2</sup> Valentin V. Trikov<sup>3</sup> Evgeniya V. Komleva<sup>4</sup> Mira O. Baituganova<sup>5</sup> Anna Yu. Balabas<sup>1-5</sup> Karaganda State Technical University, Kazakhstan

56, Bulvar Mira, Karaganda, 100026

PhD (Technical), Senior teacher

E-mail: 19chinatown@mail.ru

<sup>2</sup> teacher

E-mail: 19chinatown@mail.ru

Assistant to the teacher, master

E-mail: pafnutii\_19@mail.ru

<sup>4</sup> senior teacher

E-mail: bomira@mail.ru

<sup>5</sup> PhD student

E-mail: 19chinatown@mail.ru

**Abstract.** The article presents the efficient model of dust precipitation with water, using relevant devices which work under certain conditions, considering the mechanism of liquid drops and dust particles interaction and their fall out of a dust flow.

**Keywords:** dust content; drops formation; hydroirrigation; dust aerosol; sprinkler; localization; size of particles; flow.

**Введение.** Ускорение темпов обновления производства на основе достижений научно-технического прогресса, является основной задачей современности связанной с экономическим развитием государств и интеграцией эффективных производств в отрасли промышленности. Решение проблем в данном контексте требует создания эффективных, новаторских и высокотехнологичных способов борьбы с вредностями методами позволяющими достичь в рабочих зонах санитарных норм.

**Материалы и методы.** Работа производственных комплексов угольной промышленности характеризуется образованием большого количества пыли. Для борьбы с пылью широко применяются различные высокоэффективные методы очистки вентиляционных и технологических выбросов пылеочистными аппаратами, местной вытяжной (аспирация) и общеобменной вентиляцией, гидроорошение водой и растворами поверхностно-активных веществ, Методы борьбы с пылью позволяют обеспечивать предельно-допустимую концентрацию (ПДК) пыли, и создание условий труда в соответствии с требованиями санитарных норм. Однако, продолжающаяся интенсификация производственных процессов влечет за собой повышенное пылеобразование и запыленность атмосферы производственных участков, что приводит к необходимости создания новых способов эффективной борьбы с пылью, учитывающих основные закономерности процесса пылеобразования.

Наиболее распространенным методом борьбы с пылью является орошение. При орошении полученный посредством применения оросителей водяной аэрозоль, направляется на источник пылеобразования или пылевое облако. Частицы пыли, взвешенные в воздухе, сталкиваются с каплями воды, улавливаются ими под действием

гравитационных и инерционных сил, оседают. Улавливание пылевых аэрозолей способом орошения представлено процессом, включающим стадии:

- 1) образования и распространения потоков аэрозолей;
- 2) эффективности взаимодействия водяных и пылевых аэрозолей;
- 3) реализация улавливания пылевого аэрозоля за счет разработки новых инженерных решений. Стадии улавливания частиц пыли водой можно оценить следующей зависимостью характеризующей основное направление исследований по определению эффективного метода борьбы с пылью, в основе которого лежат условия объединения частиц пыли с каплями жидкости

$$n = \pi(R + r_n)^2 u N t \quad (1)$$

где  $R$  - размер капель жидкости, м;

$r_n$  - характерный размер частиц пыли, м ( $n$  - число частиц пыли);

$u$  - скорость пылевого потока, м/с;

$N$  - число частиц пыли в единице объема воздуха;

$t$  - время взаимодействия частиц, сек;

Зависимость (1) определяет условия силового взаимодействия сил инерции и сил сопротивления. При этом соотношение полученных в результате исследований критериальных показателей должны определяют показатель взаимодействия частиц – поверхностное натяжение жидкости.

Взаимодействие твердой пылинки с каплей жидкости при орошении – пример контактного смачивания, в котором, наряду с жидкостью и твердым телом, контактирует третья фаза – газ (в данном случае воздух). По характеру смачивания жидкостью все твердые тела разделяются на три основные группы:

- гидрофильные (или олеофобные) материалы, которые лучше смачиваются водой  $\theta_o < 90^\circ$ , где  $\theta_o$  – краевой угол смачивания (кальцит, кварц, большинство силикатов и окисленных минералов).

- гидрофобные (олеофильные) материалы, которые лучше смачиваются неполярной жидкостью (маслом):  $\theta_o > 90^\circ$  (графит, уголь, сера).

- абсолютно гидрофобные тела, для которых  $\theta_o > 90^\circ$  не только при избирательном смачивании, но и в системе «твердое тело-жидкость-газ (воздух)».

Существенное влияние на процесс смачивания оказывает явление адсорбции, в результате которого может быть нарушено соотношение поверхностного натяжения на границе фаз, участвующих в смачивании, и тем самым изменен равновесный краевой угол. В этом случае, во время смачивания, поверхностное натяжение жидкости на границе с твердым телом и газом остается постоянным. Однако, на поверхности твердого тела могут адсорбироваться молекулы смачивающей жидкости, что приводит к понижению поверхностного натяжения твердого тела, что требует корректировки подхода при исследованиях учитывающих свойства материала. Адсорбция на поверхности твердого тела влияет на смачивание особенно сильно в тех случаях, когда третьей фазой является газ. Таким образом, в состоянии термодинамического равновесия линия смачивания граничит не с исходной поверхностью, а с поверхностью, на которой адсорбированы молекулы смачивающей жидкости. С учетом адсорбции, уравнение равновесного краевого угла имеет вид

$$\cos\theta_o = (\sigma_{тг}^a - \sigma_{тж}) / \sigma_{жг} = [(\sigma_{тг} - \Pi_{пв}) - \sigma_{тж}] / \sigma_{жг} \quad (2)$$

где  $\sigma_{тг}^a$  – поверхностное натяжение твердого тела при адсорбции на его поверхности молекул смачивающей жидкости;

$\Pi_{пв} = \sigma_{тг} - \sigma_{тг}^a$  - поверхностное (двумерное) давление, зависящее от природы жидкости и твердого тела.

В случае течения жидкости к границе контакт трех фаз определяется гидродинамическими факторами - вязкостью жидкости, силами инерции. Инерционный режим (первая форма гидродинамического режима) наступает после кинетического, когда сопротивление растеканию определяются силами инерции, действующими в объеме жидкости. При вязком режиме (второй формой гидродинамического растекания) основной силой сопротивления является сила вязкого внутреннего трения в объеме жидкости, от

которой зависит скорость растекания: поверхностное натяжение на границе жидкости с твердым телом и окружающей средой, вязкость и объем жидкости.

Особенность смачивания реальных твердых тел – гистерезис смачивания, то есть способность жидкости иметь при контакте статический краевой угол, отличный от равновесного (термодинамического) значения, обусловлен различными факторами: временем контакта, наличием и условием формирования граничных слоев жидкости, особенностями жидкости и ее взаимодействия с твердым телом.

Смачиватели или смачивающие добавки при прибавлении в небольших количествах к воде, повышают ее смачивающую способность. В виду того, что наиболее вредные тонкодисперсные частицы рудничной пыли улавливаются обычной водой недостаточно и применение смачивателей при орошении становится весьма актуальным. Это основано на ряде исследований улавливания тонкодисперсных частиц буровой пыли, при вполне налаженном нормализованном процессе мокрого бурения [1], которые показали две основные причины этого явления. Первая из них связана с тем, что с поверхности тонкодисперсных частиц всего труднее (медленнее) вытесняется адсорбционная газовая пленка, препятствующая смачиванию частиц водой. В тоже время, именно высокодисперсные частицы обладают наибольшей адсорбционной активностью. Вторая причина неполного улавливания водой тонкодисперсных частиц пыли связана с кратковременностью контакта между водой и частицами пыли.

Сведения о процессе смачивания частиц пыли каплями жидкости, учитывающим поверхностное натяжение, определяют условия оценки процесса орошения пыли собственно сплошным нераспавшимся участком жидкости, имеющим пленочную форму, что требует необходимости установить критериальные показатели, характеризующие пылевые потоки и идентифицирующиеся с критериями жидкостной пленки. В данном контексте наиболее характерной, предложено выражение В.П. Воронина [3] описывающее динамику запыленности в зависимости от расстояния до источника пылевыделения на угольных шахтах

$$C = C_0 \exp \left[ \frac{-k_T l u_e}{hu} \right] \quad (3)$$

где  $C_0$  – начальная запыленность, мг/м<sup>3</sup>;

$k_m$  - коэффициент учитывающий турбулентное перемешивание;

$u_e$  - скорость витания частицы, м/с;

$h$  - средняя высота выработки, м,

$u$  - скорость потока, м/с.

Осаждение частиц, движущихся в газовой среде, характеризует число Кнудсена, которое представляет собой отношение средней длины свободного пробега молекул газа к диаметру частиц

$$K_n = \frac{2\lambda_g}{d} \quad (4)$$

где  $\lambda_g$  - средняя длина свободного пробега молекул газа, м;

$d$  - диаметр частицы, м.

Критерий Кнудсена учитывает влияние сил поверхностного натяжения и инерционных показателей взаимодействия пыли с водой. Это так же позволяет сделать заключение, что полное осаждение пыли базируется на необходимости недопущения возможного проскока частиц по длине участка движения потока, что обуславливает необходимость укрупнить частицу пыли путем объединения ее с каплей жидкости соответствующего размера, и сделав ее «тяжелой» вывести из потока. Все это осуществимо в условиях перекрытия потока зонтичным оросителем.

В таком случае, механизм осаждения пыли, при котором частицы, движущиеся в воздушном потоке улавливаются и переводятся в гравитационные. Это представляется уравнением, характеризующим перекрытие движущегося потока в условиях работающей системы аспирации пыли, имеющего вид

$$-u_g W dn = u_d n_d dL \quad (5)$$

где-  $u_g$  - скорость воздушного потока, м;

$L$  - длина участка осаждения, м;

$W$  - ширина потока, м;

$A_d=WL$  - площадь осаждения;

$u_d$  - скорость осаждения, м/с;

$n$  - концентрация частиц пыли в плоскости, перпендикулярной направлению оси потока;

$n_d$  - концентрация частиц пыли в плоскости осаждения.

При полном перемешивании для любой плоскости сечения,

$$\frac{dn_d}{n} = \frac{u_d dA_d}{Q} \quad (6)$$

$$\frac{n_d}{n} = e^{\frac{-u_d A_d}{Q}} = P_t \quad (7)$$

где  $Q= u_g W$  - объемная скорость потока;

$P_t$  - проскок частиц.

При распыливании жидкости соотношения толщины и длины нераспавшейся части жидкости описывается уравнением

$$\frac{L_c}{\delta} = f_1\left(\frac{u^2 \rho_2 \delta}{\sigma}, \frac{\delta \rho_1 u}{\mu_1}\right) \quad (8)$$

где  $\delta$  - толщина пленки, м;

$\sigma$  - величина поверхностного натяжения жидкости, Н/м;

$u$  - скорость потока, м/с, коэффициент абсолютной вязкости жидкости  $\mu$ ; плотность жидкости  $\rho_1$  и плотность газа  $\rho_2$ .

Первый аргумент- критерий Вебера: отношение скоростного напора газа, обтекающего пленку жидкости, к давлению поверхностного натяжения жидкости

$$We = \frac{u^2 \rho_2 \delta}{\sigma} \quad (9)$$

Влияние вязкости жидкости учитывают с помощью критерия Рейнольдса

$$Re = \frac{u \rho_1 \delta}{\mu_1} \quad (10)$$

Отношение критерия Вебера и Рейнольдса заменяют критерием Лапласа

$$Lp = \frac{Re^2}{We} = \frac{\rho_1 \sigma \delta}{\mu_1^2} \quad (11)$$

Критерий Лапласа, характеризует соотношение сил вязкости жидкости и поверхностного натяжения и представляет отношение толщины пленки жидкости к некоторой длине, зависящей только от физических свойств жидкости. Данное отношение представлено как

$$\Delta = \frac{\mu_1^2}{\rho_1 \sigma} \quad (12)$$

**Обсуждения.** Изучение каплеобразовательного процесса показало, что данный процесс оценивается показателем, учитывающим основную характеристику – диаметр пылевой частицы. Становится возможным использование соотношения размеров частиц пыли и капель жидкости используемой для представления процесса с применением расчетных значений параметров зонтикового орошения в пылевом потоке (канале), где жидкостная пленка его перекрывает, а воздушный поток сталкивает частицы пыли и капли жидкости

$$\frac{d_k}{d_q} = 8 \tag{13}$$

где  $d_k$  - диаметр капли жидкости, м;  $d_q$  - диаметр частицы пыли, м.  
Количество жидкости для зонтикового устройства определим по формуле

$$\frac{V_{жс}}{M_n} = \frac{512}{\rho} \tag{14}$$

$$V_{жс} = \frac{512M_n}{3\rho_n}, \tag{15}$$

где  $V_{жс}$  - объем жидкости для орошения, м<sup>3</sup>;

$M_n$  - масса пыли, кг.

Зависимость (15) представляет условия эффективного пылеподавления зонтиковым оросителем, перекрывающим пространство в котором движется пылевой поток, а частицы пыли в зоне орошения взаимодействуют с каплями жидкости и осаждаются. В таких условиях оценка эффективности локализации пыли должна оцениваться согласно модели

$$E = \frac{C_0 - C}{C_0} \tag{16}$$

где  $C_0$  - начальная запыленность, мг/м<sup>3</sup>;

$C$  - запыленность за водяным экраном жидкости, мг/м<sup>3</sup>.

Для проверки гипотезы эффективного улавливания пыли сплошным водным потоком, сотрудниками кафедры РАиОТ Карагандинского государственного технического университета было разработано устройство, принят технологический регламент, согласованы вопросы безопасности исследований на оборудовании пункта перегрузки угольной массы обогатительной фабрики. Значения запыленности в аспирируемом пылевом потоке были заданы в количественных пределах. Степень запыленности воздуха определяли весовым методом, выражающим запыленность в весовых единицах (мг/м<sup>3</sup>). Оборудование с разработанным зонтиковым оросителем отрегулировано на соответствующие значения запыленности. Исследования запыленности осуществлялось до оросителя и после него. Результаты эффективности пылеулавливания водяным аэрозолем представлены в таблице

Скорость движения потока м/с	Рабочее давление на специальном оросителе, мПа	Изменение запыленности потока до орошения мг/м <sup>3</sup>	Изменение запыленности потока, мг/м <sup>3</sup>	Расход жидкости типовой форсункой, л/мин			Расход жидкости специальной форсункой, л/мин	Эффективность пылеулавливания, %
16-6	0,10900-0,00596	1340-420	90-24	13,4	8,8	8,8	6,53-2,09	91,2
14-5	0,103892-0,004460	1250-380	100-43	11,4	7,6	7,6	6,09-1,85	
12-4	0,036038-0,004330	840-320	110-53	9,3	6,2	6,2	5,03-1,63	
10-3	0,043160-0,00448	790-240	112-54	6,6	4,4	4,4	3,79-1,15	

**Заклучение.** Исследования локализации пылевых потоков показали, что высокая эффективность локализации зонтиковым оросителем, подтверждает идею эффективного осаждения пыли водой требующего ограничения пространства. В дальнейшем внедрение систем орошения учитывающих критерии пылеулавливания, позволит снизить запыленность при ведении технологических процессов до соответствующих санитарных норм.

**Примечание:**

1. Способы заблаговременного снижения пылеобразования угольных пластов. А. Пережилов, Е. Диколенко, В. Харьковский, В. Давиденко. М.: Недра, 1995. 406 с.
2. Коузов П.А. Методы и приборы для измерения концентрации пыли. М.: изд-во Недра. 1998. 286 с.
- 3 Кудряшов В.В. Смачивание пыли и контроль запыленности воздуха в шахтах/ В.В. Кудряшов, Л.Д. Воронина, М.К. Шуринова. Москва: изд-во Наука. 1979. 199 с.

УДК 622.807

**Определение критериальных показателей режима распыливания жидкостей в системе количественных характеристик пылевого потока для его эффективного осаждения**

<sup>1</sup> Лидия Хизировна Балабас

<sup>2</sup> Валентин Владимирович Триков

<sup>3</sup> Евгения Владимировна Комлева

<sup>4</sup> Мира Олжатаевна Байтуганова

<sup>5</sup> Анна Юрьевна Балабас

<sup>1-5</sup> Карагандинский государственный технический университет, Казахстан 100026, Караганда, Бульвар Мира 56

<sup>1</sup>Старший преподаватель, кандидат технических наук

E-mail: 19chinatown@mail.ru

<sup>2</sup> Преподаватель

E-mail: 19chinatown@mail.ru

<sup>3</sup>Ассистент преподавателя, магистр по безопасности жизнедеятельности

E-mail: pafnutii\_19@mail.ru

<sup>4</sup> Старший преподаватель

E-mail: bomira@mail.ru

<sup>5</sup> Магистрант

E-mail: 19chinatown@mail.ru

**Аннотация.** В статье представлена модель эффективной локализации пыли водой, с применением соответствующих устройств, работа которых основана на создании определенных условий, учитывающих механизм взаимодействия капель жидкости и пылевых частиц и их выпадение из пылевого потока.

**Ключевые слова:** запыленность; каплеобразование; гидроорошение; пылевой аэрозоль; ороситель; локализация; размер частиц; поток.