

УДК 622.411.52:532:62-784.4

**РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СРЕДСТВ  
ВОДОДИНАМИЧЕСКОГО КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА****доктор технических наук, профессор, Гого В.Б.,  
инженеры, Гого Д.В., Тишин Р.А., Сыроватченко В. А.,  
Михайлов А.И.**

Донецкий национальный технический университет, Украина, Покровск

*Обосновано новое решение актуальной научной проблемы создания нормативных условий труда на рабочих местах в замкнутых производственных пространствах, в частности, в горных выработках глубоких шахт, по факторам запыленности воздуха и температуры. На основе развития теории гидродинамического очищения воздуха от пыли и охлаждения его водой, обоснованы функциональные, параметрические и конструктивные особенности кондиционера в виде многокамерного водного эжектора. Впервые определены условия и параметры для создания импульсно-волнового процесса очищения и охлаждения воздуха в многокамерном эжекторе, позволяющем создавать смесь из воздуха и капель воды, что повышает эффективность улавливания пыли и охлаждения воздуха. Получены закономерности, позволяющие разработать модуль кондиционера, на основе которого могут быть созданы установки различной производительности.*

*Ключевые слова: охрана труда, пыль, воздух, вода, очищение, охлаждение.*

*доктор технічних наук, професор, Гого В.Б., інженери, Гого Д.В.,  
Тишин Р.О., Сыроватченко В. А., студент, Михайлов А.І. / Розвиток  
теорії і вдосконалення засобів вододінамичного кондиціонування  
повітря / Донецький національний технічний університет, Україна,  
Покровск*

*Обґрунтовано нове вирішення актуальної наукової проблеми створення нормативних умов праці на робочих місцях в замкнутих виробничих просторах, зокрема, в гірських виробках глибоких шахт, за такими чинниками запыленості повітря і температури. На основі розвитку теорії гідродинамічного очищення повітря від пилу і охолодження його водою, обґрунтовані функціональні, параметричні і конструктивні особливості кондиціонера у вигляді багатоканального водного ежектора. Вперше визначено умови і параметри для створення імпульсно-хвильового процесу очищення і охолодження повітря в багатоканальному ежекторі, що дозволяє створювати суміш з повітря і крапель води, що підвищує ефективність*

уловлювання пилу і охолодження повітря. Отримано закономірності, що дозволяють розробити модуль кондиціонера, на основі якого можуть бути створені установки різної продуктивності.

*Ключові слова:* охорона праці, пил, повітря, вода, очищення, охолодження.

*Doctor of technical sciences, professor, Gogo V.B. engineers, Gogo D.V. Tishin R.A., Syrovatchenko V.A., student, Mikhailov A.I. Development of theory and devices water dynamic air conditioning / Donetsk National Technical University, Ukraine, Pokrovsky*

*It is proved the new solution actual scientific problem of creating a regulatory working condition in confined spaces of production, in particular in the workings of deep mines, according to the factors of air purity and temperature. On the basis of the theory of the hydrodynamic air purification from dust and cool it with water, proved functional, parametric design features and air conditioning unit in a multi-chamber of the ejector. For the first time defined the conditions and parameters for creating a pulse-wave process of purification and cooling for multi-ejector-based, allowing creating the foam from the air and water, which improves the efficiency of dust removal and cooling. On the basis of the laws of design main unit air conditioner with multi-chamber steam ejector and refrigerant, this allows you to create blocks with the required performance.*

*Keywords:* safety, dust, air, water, purification, cooling.

**Введение.** Развитие многих отраслей промышленности, особенно, угольной и горно-металлургической, требует решения актуальных проблем охраны труда, связанных с обеспечением качества воздуха на местах проведения работ. Тревожной является статистика о профессиональных заболеваниях, вызванных пылью, а также высокими температурами воздуха на рабочих местах. В частности, угольная промышленность Украины ежегодно несет экономические потери от указанных причин на сумму, превышающую 1,5 млрд. гривен. К тому же, большинство шахт ведет работы на глубинах свыше 1000 метров, где температура горных пород превышает 40°C, что ведет к росту температуры рудничного воздуха выше санитарных норм 26°C. Это отрицательно сказывается на состоянии здоровья горняков, ведет к патологиям сердечнососудистой системы, а также обостряет профессиональные заболевания, особенно органов дыхания. Поэтому необходимы безотлагательные меры по охране труда, направленные на улучшение качества рудничного воздуха, на основе новых научных решений.

Анализ научных исследований, в частности обобщающих работах [1, с.12, 2, с. 62], по организации борьбы с рудничной пылью в горных

выработках на основе орошения, показывает, что эффективность улавливания пыли каплями воды зависит от размеров пылинок и коэффициента захвата их каплями. Экспериментально доказано, что эффективность гидравлического подавления аэрозольных фракций пыли зависит в основном от степени турбулентности воздушных потоков. Чем выше давление воды при орошении, тем больше её дробление и турбулентность потока, что повышает коагуляции пылевых частиц, т.е. эффективность очистки воздуха. При этом происходит и повышение интенсивности охлаждения воздуха. Однако, для этих условий влияние пульсаций в потоке на эффективность пылеулавливания и охлаждения воздуха не рассматривалось.

Наряду с определенными успехами, достигнутыми в реализации гидродинамического способа, сохраняется важная научная проблема в раскрытии физической природы действия механизмов и закономерностей процесса очистки воздуха и охлаждения, позволяющих повысить его эффективность, в частности, импульсно-волновым воздействием капель воды на частицы пыли, что улучшает захват пыли и снижает температуру воздуха. При этом не поставлены и не решены важные теоретические задачи по использованию фрактальных представлений о структурности системы турбулентного потока «газ - капли жидкости – пылинки» для повышения эффективности улавливания пыли и охлаждения воздуха. Однако, анализ аналогичных исследований показывает, что проблему следует решать комплексно, на основе использования, импульсно-волновых и термодинамических эффектов.

Актуальность указанного, его научно-техническая и социальная значимость сконцентрировались в проблеме развития теории и совершенствование средств водного динамического кондиционирования воздуха для улучшения условий труда шахтеров по факторам запыленности и температуры.

**Цель и задачи статьи.** Цель статьи – изложить сущность развития теории гидродинамического подавления пыли, и охлаждения воздуха капельной водой для совершенствования кондиционирования воздуха импульсно-волновыми эффектами, повышающими показатели устройств, которые улучшают условия труда шахтеров, снижая запыленность и температуру воздуха.

Для достижения этой цели сформулированы и решены такие задачи:

1. Теоретически раскрыть физику процесса, аналитически описав механизм комплексного процесса гидравлического импульсно-волнового улавливания пыли и охлаждения воздуха каплями воды, на основе чего определить условия возникновения эффективного процесса генерации импульсной волны давления, а также получить

термодинамические характеристики процесса для повышения энергетической и технологической эффективности средств кондиционирования воздуха капельной водой.

2. Определить аналитически и проверить экспериментально условия и параметры для обеспечения комплексного процесса очистки и охлаждения воздуха капельной водой разработанными устройствами кондиционирования.

3. Обобщить экспериментально-аналитические исследования и провести синтез элементов устройства эжектора для импульсно-волнового кондиционера рудничного воздуха в условиях угольных шахт.

Объект исследования – процессы гидравлического улавливания пыли и охлаждения рудничного воздуха в условиях угольных шахт. Предмет исследования – импульсно-волновое гидравлическое улавливание пыли и охлаждение воздуха капельной водой.

**Изложение основного материала статьи.** Развитие теории гидравлического улавливания пыли, и охлаждения воздуха требует обоснования физико-математической модели потока как трехфазной смеси, интерпретация которой в виде фрактальных структур приведена на рис. 1.

Фотографии обработаны компьютерной программой координатной диспозиции зон фракталов, как объектов поиска прошедших изменений. Модель трехфазного потока фрактальной структуры делает возможным описание переходов состояний систем «газ - капли - пылинки» в системы с двумя компонентами «газ - капли с поглощёнными пылинками», что адекватно процессам улавливания пыли каплями.

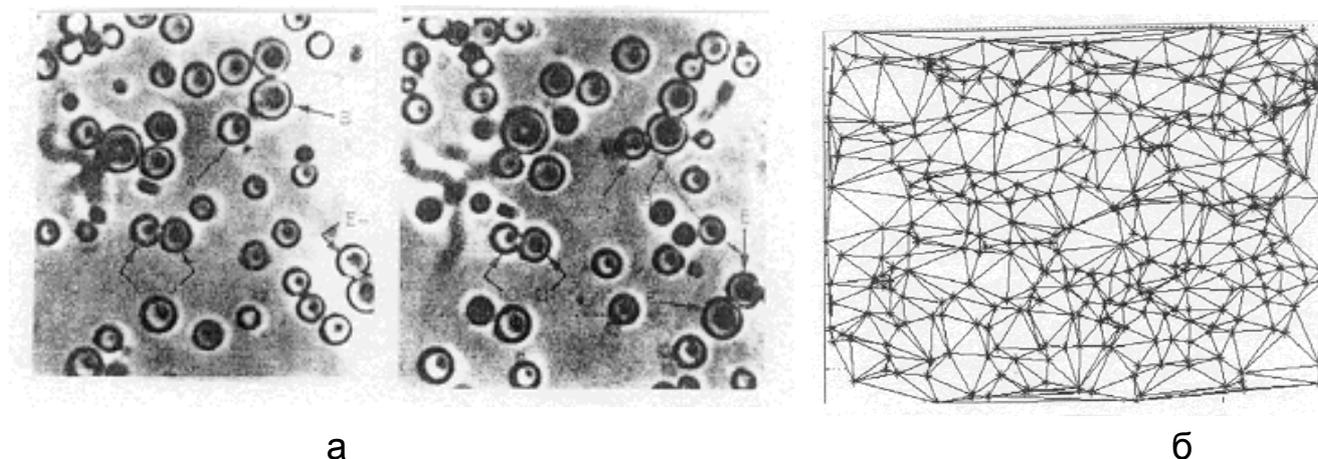


Рис. 1. Фрагменты фрактальных структур потока смеси воздуха, капель и твердых частиц (пыли): а - фото; б - компьютерная обработка.

Случайные флуктуации в волновом потоке учитываются как неоднородные состояния систем при переходах одной структуры в

другую при анализе геометрических моделей фрактальных композиций по схеме, приведенной на рис. 2.

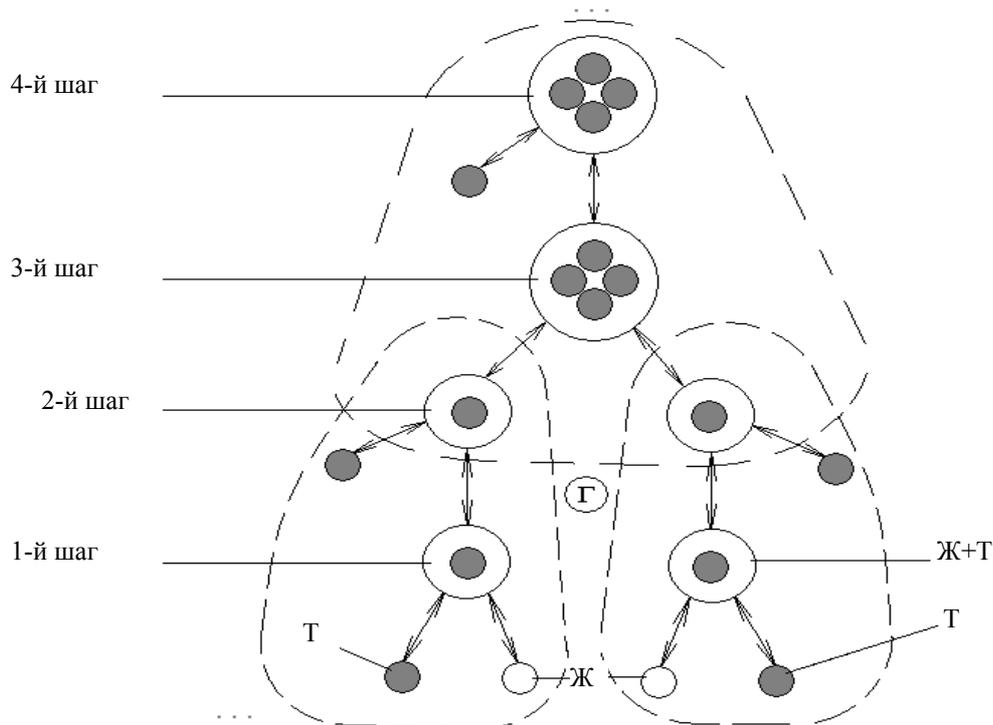


Рис. 2. Схема структур фракталов: Г - газ; Ж - капля; Т - твердая частица.

Геометрические фракталы системы «газ - капли - частицы» получены с помощью линий (точнее поверхностей для пространства), охватывающих фрактал (на рис. 2 показано пунктирными линиями). Фрактальное структурирование потока позволило получить аналитическое выражение для значения предельной массы капли с поглощенными пылинками в виде:

$$M = m_0 \left( \sum_i^N 2^i k_S^{(N+2)-1} + (2^N - 1)(k_S^2 + 1) + 1 \right), \quad (1)$$

где  $k$  - массовый коэффициент для  $i$ -го шага слияния;  $N$  - число шагов слияний;  $m_0$  - начальная масса капли.

На основе параметрической связи (1) можно утверждать, что существует дискретность в процессе поглощения пылинок одной каплей. Формирование капли предельных размеров происходит с дискретностью массового и энергетического состояний, что происходит за счет поглощения пылинок и нагрева капли от воздуха и пыли. Процесс испарения не учитывался из-за данных экспериментов, что нагрева капель воды происходил на 1-2 градуса.

Для исследования фрактала структуры газожидкостного запыленного потока принимаем, что состав капли может быть моно или бинарным. Это значит, что одна капля может захватить только одну или две пылинки, не нарушая фрактальной структуры потока. Следовательно, предельные по массе капли будут формироваться, и выпадать с определенной частотой колебательного перемещения компонентов потока, которое становится волновым с известными начальными импульсами. Поэтому время формирования капли предельной массы является технологическим временем импульсно-волнового процесса улавливания пылинок и теплообмена в заданном объеме потока.

Для аналитического описания механизма процесса импульсно-волнового улавливания пыли каплями жидкости и охлаждения воздуха (газа) в физико-математической модели сделаны предположения, что собственные колебания капель и твердых частиц (пыли) учитываются без взаимного влияния друг на друга. Эффективность внедрения пыли в каплю зависит от величины внешнего импульса давления, а первичные столкновения пылинок и капель происходят в пространстве потока. Кроме этого, принималось, что описание динамики единичной массы потока (объекта) отвечает системе двух тел «капля - пылинка» в виде уравнений:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \gamma \frac{dx}{dt} = 0; \quad (2)$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \gamma \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0, \quad (3)$$

где  $x$  - координата движущего объекта по оси ( $x$ ) единичной массы;

$\gamma$  - коэффициент пропорциональности, который формируется параметрами компонентов и характеристиками потока единичной массы;

$\omega_0$  - собственная циклическая частота колебаний единичной массы потока.

Решением (2) и (3) является функциональная связь в виде:

$$x(t) = x_0 e^{-\varepsilon t} \left( \frac{1}{\omega} (1 + \varepsilon) \sin \omega t + \cos \omega t \right). \quad (4)$$

Анализ (4), позволяет утверждать, что при слабых колебаниях потока экспоненциальный показатель ( $\varepsilon t$ ) можно считать постоянным в течение одного цикла колебаний. При этом предположении второе слагаемое можно не учитывать. Тогда полная энергия потока единичной массы будет равна:

$$E(t) = E_0 e^{-\gamma t}, \quad (5)$$

где  $E(t)$  - полная энергия объекта в волновом процессе (как сумма кинетической и потенциальной энергий) для данного момента времени при известной  $E_0$  - начальной энергии частицы.

Следовательно, полная энергия частицы потока в волновом процессе может быть записана в виде:

$$E(t) = \frac{m}{2} \left[ \left( \frac{dx}{dt} \right)^2 + \omega_0^2 x^2 \right], \quad (6)$$

где  $m$  – соответственно, масса частицы (капли или пыли).

Начальная энергия частицы определяется выражением:

$$E_0 = \frac{m}{4} (\omega^2 + \omega_0^2) (c_1^2 + c_2^2), \quad (7)$$

где  $\omega$  - циклическая частота колебаний частицы потока;  $c_1$  и  $c_2$  - постоянные.

Учитывая (6 - 7) и то, что  $\omega = 2\pi\nu$ , получим:

$$\nu = \nu_0 e^{\frac{-\gamma d_0}{V}}, \quad (8)$$

где  $d_0$  - диаметр частицы (до столкновения с другой частицей);

$V$  - скорость частицы потока.

С целью повышения эффективности процесса внедрения пылинки в каплю, исследовано влияние генерации импульса давления на изменения в структурах системы «газ – капля-пылинка». Предполагаем, что в потоке находятся капли и частицы (пылинки), адекватные друг другу с фрактальным распределением по объему, и в потоке создано двумерное волновое возмущение.

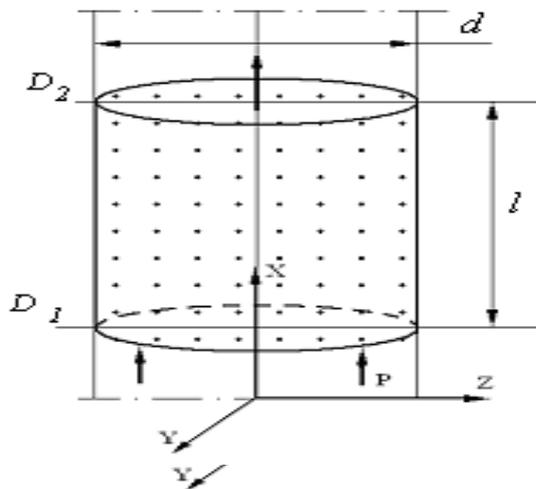


Рис. 3. Схема фрактального потока с двумерным волновым возмущением

Граничные условия:

$$x(t_0) = x_0; \quad P_0 = P(t_0, x_0),$$

где  $t_0$  - время начала отсчета импульса по координате ( $x$ );  $P_0$  - начальное давление.

Принято, что поток идеальный и в лагранжевых переменных характеризуется системой уравнений в следующем виде:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{\rho J} \left( \frac{\partial P_{жс}}{\partial x_0} \frac{\partial y}{\partial y_0} - \frac{\partial P_{жс}}{\partial y_0} \frac{\partial y}{\partial x_0} \right), \quad \frac{\partial x}{\partial t} = u; \quad (9)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{1}{\rho J} \left( \frac{\partial P_{жс}}{\partial y_0} \frac{\partial x}{\partial x_0} - \frac{\partial P_{жс}}{\partial x_0} \frac{\partial x}{\partial y_0} \right), \quad \frac{\partial y}{\partial t} = v; \quad (10)$$

$$\frac{\partial P_{жс}}{\partial t} = \frac{C_{жс} \rho_{жс} T_{жс}}{1 - \alpha_{\Gamma}} \left[ \frac{3\alpha_{\Gamma}}{\alpha_{жс}} w + \left( \frac{\alpha_{\Gamma}}{J} + \frac{\rho_{жс}}{J^2 \rho_{жс0}} \right) \frac{\partial J}{\partial t} \right]; \quad (11)$$

$$\frac{\partial \alpha_{\Gamma}}{\partial t} = \frac{3\alpha_{\Gamma}}{a} w - \frac{\alpha_{\Gamma} \partial J}{J \partial t}; \quad (12)$$

$$\frac{\partial P_{\Gamma}}{\partial t} = -\frac{3\gamma P_{\Gamma}}{a} w - \frac{3\gamma - 1}{\alpha_{\Gamma}} \frac{q}{a}; \quad (13)$$

$$\frac{\partial a_{жс}}{\partial t} = w = w_A + w_R; \quad (14)$$

$$w_A = \frac{P_{\Gamma} - P_{жс}}{T_{жс} \rho_{жс} C_{жс} \sqrt[3]{\alpha_{\Gamma}}} w_R; \quad (15)$$

$$\frac{\partial w_R}{\partial t} = \frac{1}{a} \left( \frac{P_{\Gamma} - P_{жс}}{\rho_{жс}} - 1,5\alpha_{\Gamma} w_R^2 - 4v_{жс} \frac{w_R}{\alpha_{жс}} \right); \quad (16)$$

$$J = \frac{\partial x}{\partial x_0} \frac{\partial y}{\partial y_0} - \frac{\partial x}{\partial y_0} \frac{\partial y}{\partial x_0}; \quad (17)$$

$$\frac{\partial J}{\partial t} = \frac{\partial u}{\partial x_0} \frac{\partial y}{\partial y_0} - \frac{\partial u}{\partial y_0} \frac{\partial y}{\partial x_0} + \frac{\partial x}{\partial x_0} \frac{\partial v}{\partial y_0} - \frac{\partial x}{\partial y_0} \frac{\partial v}{\partial x_0}, \quad (18)$$

где  $\rho$  - плотность смеси потока;  $P = P_{\Gamma}$  - давление в потоке;  $u$  - скорость по координате ( $x$ );  $v$  - скорость по координате ( $y$ );  $w$  - радиальная скорость капель;  $J$  - якобиан перехода от лагранжевых к эйлеровым переменным;  $C$  - удельная теплоемкость жидкости;  $\gamma$  - показатель адиабаты газа;  $a$  - средний радиус фазовой области;  $\alpha$  - относительное объемное содержание фаз;  $q$  - интенсивность теплообмена между фазами;  $ж$  - индекс жидкости;  $\Gamma$  - индекс газа;

$x_0, y_0$  - лагранжевые переменные, за которые приняты начальные эйлеровы координаты.

Система уравнений (9-18) решается численными методами (например, в программной реализации MathCad-2005) и даёт иллюстрацию эффекта, который имеет нелинейную эволюцию волнового импульса давления в виде:

$$P(t, x) = P_0 + P^* \exp(-\varepsilon), \quad (19)$$

где  $P_0$  - начальное давление (в начальном сечении);  $D^*$  - амплитуда импульса давления;  $\varepsilon$  - показатель времени действия импульса, равный:

$$\varepsilon = (t - 0,5t^*) t_0^{-1},$$

где  $t$  - координатное время;  $t^*$  - длительность импульса;  $t_0$  - характерная длительность начального импульса.

Учитывая импульсно-волновой характер движения капель и пылинок в потоке, запишем уравнения движения, при условии, что мгновенные эффективные радиусы действия капель на частицы (пылинки) изменяются по зависимости:

$$R_k(t) = R_{k0} + \Delta_k f(t); \quad \Delta_k (R_{k0})^{-1} \ll 1,$$

где  $R_k(t)$  - мгновенный радиус капли;  $R_{k0}$  - невозмущенный радиус капли;  $\Delta_k$  - амплитуда пульсаций капли в эффективном объеме;  $f(t)$ - функция, зависящая от времени.

Тогда, система уравнений импульсно-волнового движения капли жидкости относительно оси потока, с точностью до величины второго порядка малости, имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{dV_k}{dt} = 2(\dot{V}_\Gamma - g) - \dot{V}_k \left[ \frac{9\eta}{R_{k0}^2 \rho_{жс}} \left( 1 - \frac{2\Delta_k}{R_{k0}} + \frac{3\Delta_k}{R_{k0}^2} \right) + \frac{3}{R_{k0}} \Delta_k \left( 1 - \frac{\Delta_k}{R_{k0}} \right) \right], \\ \ddot{\Delta}_k + \omega_k^2 \Delta_k = \chi_k(\Delta_k, \dot{\Delta}_k, V_k \dots), \end{cases} \quad (20)$$

где  $V_k$  - скорость поступательного движения капли;  $V_\Gamma$  - скорость газа;  $g$  - ускорение силы тяжести;  $\rho_{жс}$  - плотность жидкости капли;  $\eta$  - динамический коэффициент вязкости;  $\omega$  - циклическая частота пульсаций.

При импульсно-волновом процессе образуются области, в которых капли жидкости и частицы пыли перемещаются в сторону противоположную от направления потока. Это повышает частоту столкновений капель жидкости и частиц пыли, которая пропорциональна пульсациям в потоке с циклической частотой:

$$\omega = \left\{ (R_{BO}^2 - R_{MO}^2)^{-1} \left[ 3Ag(n_B - n_M) + \frac{2\sigma[R_{MO}(3n_B - 1) + R_{BO}(1 - 3n_M)]}{\rho_{ж}R_{BO}R_{MO}} \right] \right\}^{1/2}. \quad (21)$$

где  $\omega$  - циклическая частота пульсаций в потоке;  $R_{BO}, R_{MO}$  - начальные радиусы больших и малых капель;  $n_B, n_M$  - соответственно, относительные количества больших и малых капель;  $A$  - параметр, зависящий от координаты частицы;  $\sigma$  - коэффициент поверхностного натяжения жидкости.

Упругие свойства газожидкостного потока позволяют обеспечить необходимые пульсации гидродинамического давления в потоке, а, соответственно, и число столкновений для внедрения частицы (пылинки) в каплю без дополнительных технических средств путем заданной пульсации потока.

Таким образом, теоретические исследования позволили определить, что повышением частотных пульсаций в потоке можно повысить частоту импульсов воздействий капель на частицы, т.е. повысить эффективность процесса очистки воздуха от пыли, а также интенсивность теплообмена между каплями и воздухом для улучшения его охлаждения.

Экспериментальные исследования проведены на установках, имеющих натурные размеры и режимы действий, соответствующие условиям промышленной эксплуатации для уменьшения влияния эффекта масштабности. в лаборатории гидромеханики и на опытно-промышленных установках в условиях угольной шахты. Экспериментально подтверждено, что гидродинамическая импульсно-волновая организация течения смеси позволяет повысить эффективность улавливания частиц пыли каплями.

На рис. 4 приведены зависимости распространения импульса давления в исследуемом объеме смеси капель и запыленного воздуха по длине потока эжектора.

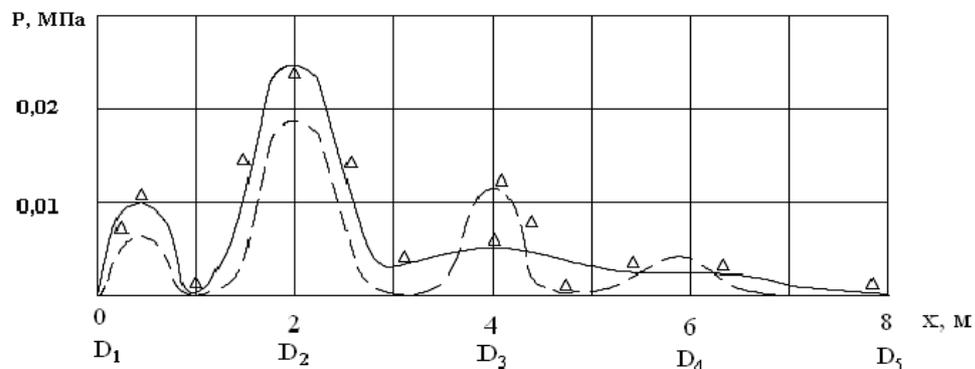


Рис. 4. График распространения импульса давления в рабочем объеме (трубе) потока: пунктир - теория;  $\Delta$  - эксперимент;  $D_1, D_2, \dots, D_5$  - датчики давления, установленные по длине эжектора.

С целью проверки расчетных параметров эжектора как основного модуля кондиционера были проведены эксперименты для определения зазоров между цилиндрическими камерами эжектора и углами раскрытия диффузора при рабочих давлениях воды (0,5-2) МПа. На рис. 5 показана схема, и на рис 6 фотография разработанного модуля многокамерного эжектора.

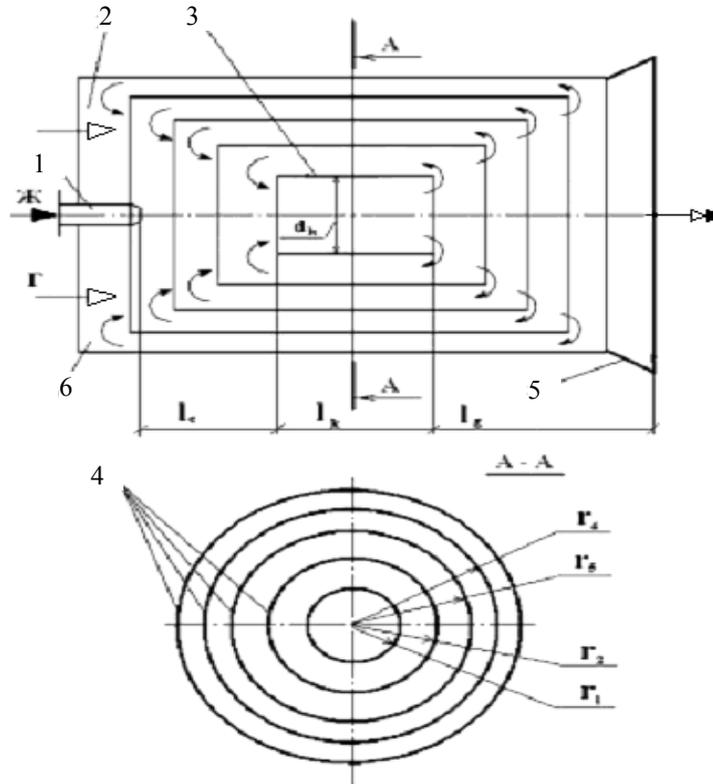


Рис. 5. Схема многокамерного эжектора: 1 - сопло; 2 - камера; 3 - камера смешивания, 4 - цилиндры, 5 - диффузор, 6 - конфузор.



Рис. 6. Фотография многокамерного эжектора.

**Практическое значение полученных результатов** заключается в том, что на основе установленных закономерностей и механизмов

гидродинамического импульсно-волнового кондиционирования воздуха разработаны рекомендации для мероприятий, направленных на улучшение условий труда на запыленных рабочих местах с высокой температурой воздуха шахтеров по пылевому фактору, а также технические требования к на создание необходимых устройств. Путем реализации импульсно-волнового кондиционирования рудничного воздуха, например в условиях подземных горных работ в локальных зонах глубоких угольных шахт, достигаются нормативные параметры по факторам запыленности и температуры.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Сущность механизма импульсно-волнового кондиционирования воздуха капельной водой, состоит в процессах колебательного внедрения пыли в капли за счет результирующих импульсов действующих сил и энергетических потенциалов систем «капля жидкости - частица пыли». При этом доминирующим является величина кинетического момента инерции, который проявляется через циклическую частоту колебаний системы, а она находится во фрактальной структуре только в дискретных массовых состояниях капли с одной или двумя поглощенными частицами пыли. Эта частота соответствует частоте импульсов, создаваемых в пыли воздушно-капельной среде, с повышением которых улучшается эффект внедрения частиц в капли, а также охлаждение воздуха.

Впервые экспериментально подтверждено, что условием возникновения эффективного процесса импульсно-волнового кондиционирования воздуха является создание импульсов давления в рабочем пространстве, которые распространяются как импульсная волна давления. С возрастанием амплитуды давления в среднем в 2 раза по отношению к амплитуде начального импульса, эффективность пылеулавливания возрастает в области, расположенной на расстоянии 0,25 от расстояния максимально распространения возмущения. При этом установлено, что эффективность пылеулавливания возрастает в области увеличения амплитуды давления и частоты колебаний частиц и капель. Эта зависимость выражается экспоненциальным законом, в котором показатель степени прямо пропорционально зависит от диаметра частицы до слияния и обратно пропорционально зависит от скорости ее движения.

### **Литература:**

1. Гого В.Б. Гидродинамическое подавление пыли в условиях угольных шахт: теория и технические решения / В.Б. Гого, В.Б. Малеев. – Донецк: ДонНТУ, 2008. – 240 с.
2. Гого В. Б. Гидромеханика стохастических процессов улавливания частиц пыли каплями жидкости / В.Б. Гого, В.Б. Малеев // Наукові

- праці Донецького національного технічного університету. – 2007. – 14 (127). – С. 61–67.
3. Гого В.Б. Обоснование параметров диффузор-конфузорных элементов гидродинамической установки пылеулавливания / В.Б. Гого, В.Б. Малеев, А.С. Булыч // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2007. – № 13 (123). – С. 40–44.
4. Гого В.Б. Гидромеханические аспекты повышения эффективности процесса улавливания пыли / В. Б. Гого // Промислова гідравліка і пневматика. – 2007. – № 4 (18). – С. 41–42.
5. Гого В.Б. Уравнения пульсационного движения капель и частиц пыли в гидродинамической установке очистки газов / В.Б. Гого, В. Б. Малеев, А.С. Булыч // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2006. – № 12 (113). – С. 53–58.
6. Гого В.Б. Комплексная оценка эффективности гидродинамической очистки газов / В.Б. Гого // Уголь Украины. – 2005. – № 11.– С.39–42.
7. Гого В.Б. Математическая модель процесса гидродинамического подавления пыли и очистки газов / В.Б. Гого // Уголь Украины. – 2005. – № 7. – С. 26–28.
8. Гого В.Б. Гидродинамика и теплообмен компонентов комплексного газлифтного потока / В.Б. Гого // Сборник научных трудов Национального горного университета. – 2004. – Т. 5, № 19. – С. 126–129.
9. Гого В.Б., Структурно-фрактальные закономерности в механике гидродинамического подавления пыли / В.Б. Гого, В.Б. Малеев // Наукові праці ДонНТУ. – 2005. - №94. – С. 82 – 89.
10. Пат. 16953 Україна, МПК F 04 F 5/16. Ежектор / Гого В.Б., Малеев В.Б.; заявник та патентовласник Донецький НТУ; заявл. 10.11.05 ; опубл. 15.09.06, Бюл. № 9.

**Referenses:**

1. Gogo V. B. *Gidrodinamicheskoe podavlenie pyli v usloviyakh ugolnykh shakht: teoriya i tekhnicheskie resheniya* / V.B. Gogo, V. B. Maleev. – Donetsk: DonNTU, 2008. – 240 s.
2. Gogo V. B. *Gidromekhanika stokhasticheskikh protsessov ulavlivaniya chastits pyli kaplyami zhidkosti* / V. B. Gogo, V. B. Maleev // *Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo universitetu*. – 2007. – 14 (127). – S. 61–67.
3. Gogo V.B. *Obosnovanie parametrov diffuzor-konfuzornykh elementov gidrodinamicheskoy ustanovki pyleulavlivaniya* / V.B. Gogo, V.B. Maleev, A.S. Bulych // *Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo universite-tu*. – 2007. – № 13 (123). – S. 40–44.
4. Gogo V.B. *Gidromekhanicheskie aspekty povysheniya effektivnosti protsessa ulavlivaniya pyli* / V.B. Gogo // *Promislova gidravlika i pnevmatika*. – 2007. – № 4 (18). – S. 41–42.

5. Gogo V.B. *Uravneniya pulsatsionnogo dvizheniya kapel i chastits pyli v gidrodinamicheskoy ustanovke ochistki gazov* / V.B. Gogo, V.B. Maleev, A.S. Bulych // *Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo universite-tu.* – 2006. – № 12 (113). – S. 53–58.
6. Gogo V.B. *Kompleksnaya otsenka effektivnosti gidrodinamicheskoy ochistki gazov* / V.B. Gogo // *Ugol Ukrainy.* – 2005. – № 11.– S.39–42.
7. Gogo V.B. *Matematicheskaya model protsessa gidrodinamicheskogo podavleniya pyli i ochistki gazov* / V.B. Gogo // *Ugol Ukrainy.* – 2005. – № 7. – S. 26–28.
8. Gogo V.B. *Gidrodinamika i teploobmen komponentov kompleksnogo gazliftnogo potoka* / V.B. Gogo // *Sbornik nauchnykh trudov Natsionalnogo gornogo universiteta.* – 2004. – T. 5, № 19. – S. 126–129.
9. Gogo V.B., *Strukturno-fraktalnye zakonomernosti v mekhanike gidrodinamicheskogo podavleniya pyli* / V.B. Gogo, V.B. Maleev // *Naukovi pratsi DonNTU.* – 2005. - №94. – S. 82 – 89.
10. *Pat. 16953 Ukraïna, MPK F 04 F 5/16. Yezhektor* / Gogo V.B., Maleev V.B.; *zayavnik ta patentovlasnik Donetskiiy NTU; zayavl. 10.11.05; opubl. 15.09.06, Byul. № 9.*