

УДК 622.411

**В.Б. Гого**, д-р техн. наук, доц.,  
**Ю.Ф. Булгаков**, д-р техн. наук, проф.,  
Донецкий национальный технический университет

## **ВЛИЯНИЕ ГИДРОИМПУЛЬСОВ ПРИ ОРОШЕНИИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ УЛАВЛИВАНИЯ ПЫЛИ**

*В работе изложены результаты теоретического и экспериментального исследования позитивного влияния гидроимпульсов при орошении на эффективность улавливания пыли.*

**Ключевые слова:** гидроимпульс, гидрообеспыливание, воздух, пыль, капли.

### ***Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.***

Охрана труда шахтёров, особенно очистных и проходческих забоев на угольных шахтах, в первую очередь решает актуальную проблему борьбы с рудничной пылью. Это связано, прежде всего, с угрозой профессиональных заболеваний органов дыхания, а также возможностью образования взрывоопасной среды. Практика борьбы с пылью показывает, что наибольший эффект достигается при гидроорошении и гидропылеулавливании. Поэтому для разработки эффективных устройств орошения и гидрообеспыливания научно важным является решение проблемы физического и математического моделирования гидро-динамических процессов улавливания каплями частиц пыли.

***Анализ исследований и публикаций.*** Анализируя теоретические работы и исследования по проблемам орошения и гидрообеспыливания, в частности [1- 3], приходим к выводу, что в предложенных моделях улавливания частиц пыли каплями (например, воды) весьма упрощенно отражена сущность процесса, как линейного столкновения капель и пылинок, а потому в практических разработках применялись результаты экспериментальных исследований, что не позволяло аналитически обосновать новые устройства для повышения эффективности орошения и гидропылеулавливания.

***Цель исследования,*** излагаемого в статье, определить влияние начального импульса давления от действия капель на частицы пыли в воздушном потоке и на процесс внедрения пылинок в капли для разработки импульсных оросительных устройств.

***Постановка задачи.*** Обосновать физическую модель и описать математически гидродинамический процесс импульсного действия

капель на пылевые частицы в воздухе, предполагая, что частицы и капли находятся в колебательных движениях, создаваемых в рабочем пространстве потока, при пульсирующих изменениях начального давления в потоке.

### *Изложение материала и результаты.*

Для обоснования модели и математического описания гидродинамического процесса импульсного действия капель жидкости на частицы пыли в воздухе, исследуем влияния генерации импульса давления в трехфазном (воздух - капли - твердые частицы) потоке, на-

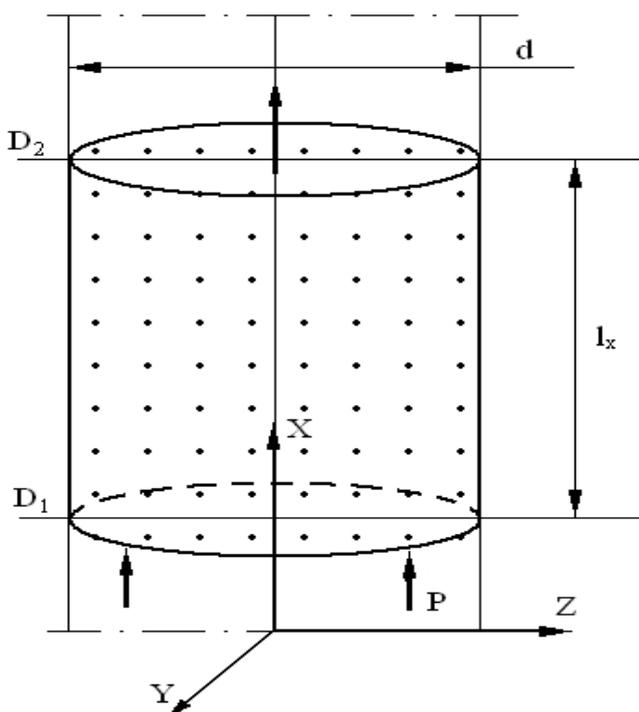


Рис. 1. Схема исследуемого пыле-капельного объема воздуха

пример, цилиндрической формы и эволюцию этого импульса в рабочем объеме.

Рассматриваем двумерные импульсные возмущения, вносимые в запыленный воздух при орошении, вызывающие нелинейные эффекты перемещений и воздействий капель на частицы пыли в заданном объеме дисперсного трехфазного пространства. Полагаем, что капли и частицы пыли равномерно распределены в исследуемом объеме воздуха (рис.1).

Импульс давления реализуется в начальном сечении исследуемого объема потока при

условии, что давление известно в начальной осевой координате, т.е.:

$$x(t_0) = x_0;$$

$$P_0 = P(t_0, y_0),$$

где  $t_0$  - время начала отчета координаты ( $x$ );  $P_0$  - начальное давление.

Принимая, что компоненты и сам трехфазный поток идеальные, а потери давления на трение и взаимодействие фаз отсутствуют, запишем в лагранжевых переменных характеристические уравнения состояния потока:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{\rho j} \left( \frac{\partial P_l}{\partial x_0} \frac{\partial y}{\partial y_0} - \frac{\partial P_l}{\partial y_0} \frac{\partial y}{\partial x_0} \right), \quad \frac{\partial x}{\partial t} = u; \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{1}{\rho j} \left( \frac{\partial P_l}{\partial y_0} \frac{\partial x}{\partial x_0} - \frac{\partial P_l}{\partial x_0} \frac{\partial x}{\partial y_0} \right), \quad \frac{\partial y}{\partial t} = v; \quad (2)$$

$$\frac{\partial P_l}{\partial t} = \frac{C_l \rho_l T_l}{1 - \alpha_g} \left[ \frac{3\alpha_g}{\alpha_l} w + \left( \frac{\alpha_g}{J} + \frac{\rho_l}{J^2 \rho_{l0}} \right) \frac{\partial J}{\partial t} \right]; \quad (3)$$

$$\frac{\partial \alpha_g}{\partial t} = \frac{3\alpha_g}{\alpha_l} w - \frac{\alpha_g \partial J}{J \partial t}; \quad (4)$$

$$\frac{\partial P_g}{\partial t} = -\frac{3\gamma P_g}{\alpha_g} w - \frac{3\gamma - 1}{\alpha_g} \frac{q}{a_g}; \quad (5)$$

$$\frac{\partial a_l}{\partial t} = w = w_A + w_R; \quad (6)$$

$$w_A = \frac{P_g - P_l}{T_l \rho_l C_l \sqrt[3]{\alpha_g}} w_R; \quad (7)$$

$$\frac{\partial w_R}{\partial t} = \frac{1}{a} \left( \frac{P_g - P_l}{\rho_l} - 1,5\alpha_g w_R^2 - 4\nu_l \frac{w_R}{\alpha_l} \right); \quad (8)$$

$$J = \frac{\partial x}{\partial x_0} \frac{\partial y}{\partial y_0} - \frac{\partial x}{\partial y_0} \frac{\partial y}{\partial x_0}; \quad (9)$$

$$\frac{\partial J}{\partial t} = \frac{\partial u}{\partial x_0} \frac{\partial y}{\partial y_0} - \frac{\partial u}{\partial y_0} \frac{\partial y}{\partial x_0} + \frac{\partial x}{\partial x_0} \frac{\partial v}{\partial y_0} - \frac{\partial x}{\partial y_0} \frac{\partial v}{\partial x_0}, \quad (10)$$

где  $\rho$  - середня плотность смеси капель и частиц пыли, находящихся в воздушном потоке;

$P$  - давление в данном сечении поток;

$u$  - скорость по координате ( $x$ );

$v$  - скорость по координате ( $y$ );

$w$  - радиальная скорость капель в данном сечении;

$J$  - якобиан перехода от лагранжевых к эйлеровым переменным;

$C$  - удельная теплоемкость жидкости (воды);

$\gamma$  - показатель адиабаты газа (воздуха);

$a$  - средний радиус фазовой области потока;

$\alpha$  - относительное объемное содержание фаз;

$q$  - интенсивность теплообмена между фазами;

$l$  - индекс жидкости (liquid);

$g$  - индекс газа (gas);

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

Сформированная система уравнений (1-10) решается численными методами относительно поиска функции изменения давления в зависимости от времени и осевой координаты ( $y$ ), например, в программном обеспечении MathCad 2001 и даёт иллюстрацию эффектов нелинейности проявлений давлений как волнового импульса в исследуемом объеме. На рис. 2 приведены расчетная и экспериментальная характеристики распространения начального давления как импульсного воздействия на трехфазную смесь в объеме цилиндрической трубы.

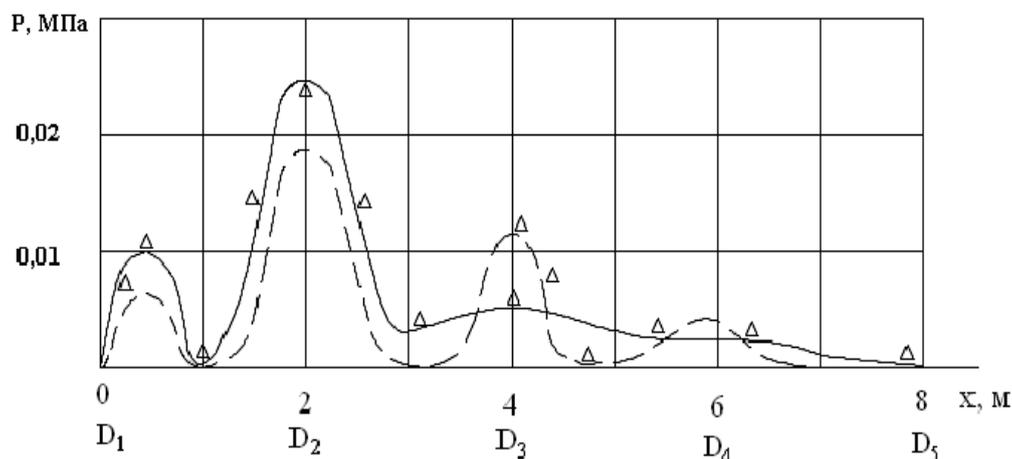


Рис. 2. Теоретическая и экспериментальная зависимости распространения давления как импульса воздействия в исследуемом объёме смеси (пунктир - теория;  $\Delta$  - эксперимент)

Аналитическое выражение функции эволюции давления как волнового импульса имеет вид:

$$P(t, y) = P_0 + \Delta \exp(-\varepsilon), \quad (11)$$

где  $P_0$  - начальное давление (в начальном сечении трубы);  $\Delta$  - амплитуда импульса давления;  $\varepsilon$  - показатель таймерного воздействия, определяемый зависимостью

$$\varepsilon = \frac{t - 0,5t^*}{t_0},$$

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

Исследуемые области потока в цилиндрической трубе взяты так, чтобы не учитывать (в пространстве и во времени) вторичных возмущений, образуемых отражением от стенок. Теоретическое решение было проверено экспериментально с помощью датчиков давления. Датчик давления ( $D_1$ ) располагался на расстоянии 0,1 м от смесительной части трубы, а датчик ( $D_2$ ) - на расстоянии 2 м от начального сечения ( $l_x = 2$  м). Последующие датчики  $D_3$ ,  $D_4$ ,  $D_5$  соответственно имели координаты от входного сечения ( $x_3 = 4$  м;  $x_4 = 4$  м;  $x_5 = 8$  м). Было определено, что при прохождении импульса по газожидкостному потоку радиальные пульсации во времени не превышали значения  $t^*$ :

$$t^* = \pi d \alpha \sqrt{\rho l_0 (3\gamma P_0)^{-1}}. \quad (12)$$

При этом величина давления во втором сечении ( $l_x = 2$ ) зависела от амплитуды исходного импульса. Этот эффект возрастания давления во втором сечении составлял 5 кПа. Из-за малости амплитуды первоначального импульса 10 кПа это значение весьма значительно (50%).

Экспериментально установлено, что во втором сечении ( $D_2$ ) появляется импульс, в 2 раза превышающий по амплитуде начальный импульс, что является результатом импульсного радиального расширения воздуха от оси потока к боковой поверхности при поступательном движении потока. Пробы воздуха, взятые во втором сечении, показали снижение концентрации пыли в среднем на 40%, что подтверждает эффект активизации внедрения пылевых частиц в капли при создании импульса давления. В сечении 3 происходит наложение двух амплитуд - амплитуды основного импульса давления и амплитуды отраженного импульса. Результирующая амплитуда, регистрируемая датчиком ( $D_3$ ), немного отличается от начального импульса, а это определяет, что амплитуда давления в третьей координате, хотя и меньше амплитуды начального импульса, однако несколько выше амплитуды начального возмущения. Аналитические и экспериментальные результаты, отраженные на рис. 2, дают основание рассматривать начальные гидроимпульсы давления как последующий импульсно-волновой процесс воздействия капель на пылевые частицы, который дает эффект повышения степени пылеулавливания орошением.

**Выводы.** Таким образом, распространение начального давления как гидроимпульса конечной длительности в пыле-воздушно-капельном потоке проявляется с возрастанием амплитуды давления по отношению к амплитуде начального импульса в 2 раза и снижени-

ем концентрации пыли в среднем на 40%,. Если создать специальную конструкцию форсунки для импульсного орошения или устройство, например, с промежуточными сечениями формирования импульсов давления диффузор-конфузорного типа или многокамерных водоэжектов, то эффект возрастания импульса давления повысит турбулентное взаимодействие компонентов потока - капель и частиц пыли, что активизирует контактное действие капель на пылевые частицы, а следовательно повысит эффективность пылеулавливания при орошении как важного мероприятия охраны труда шахтеров.

**В дальнейшем, с целью уточнения полученных результатов, планируется** учесть составляющие упругих и резонансных свойств смеси в результирующем давлении потока заданной формы, например, диффузор-конфузорной [4], что позволит обеспечить увеличение амплитуды пульсаций, а, соответственно, и качество диспергирования жидкости и активности воздействий капель на частицы пыли в областях спонтанных пульсаций.

#### Список литературы

1. Ищук И.Г. Прогнозирование запыленности рудничной атмосферы и обоснование комплекса эффективных способов и средств обеспыливания очистных забоев угольных шахт: Дис. докт. техн. наук: 05.15.11 и 05.26.01 / И.Г. Ищук. – М., 1989. – 421 с.
2. Журавлев В.П. Методы борьбы с угольной пылью / В.П. Журавлев, Е.Ф. Демичева, Л.А. Спириин. – Ростов н/Д.: Изд. Ростовского университета, 1988. – 144 с.
3. Поздняков Г.А. Теория и практика борьбы с пылью в механизированных подготовительных забоях / Г.А. Поздняков, Г.К. Мартынюк. – М.: Наука, 1983. – 126 с.
4. Гого В.Б. Выбор параметров диффузор-конфузорной подъемной трубы газлифта / В.Б. Гого // Гірнична електромеханіка та автоматика. – 1999. – №2(61). – С.177-180.

*Стаття надійшла до редколегії 23.09.2011.*

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.К. Семенченко*

**В.Б. Гого, Ю.Ф.Булгаков.** Вплив гідроімпульсів під час зрошування на ефективність уловлювання пилу. В роботі викладено результати теоретичного та експериментального дослідження позитивного впливу гідроімпульсів на ефективність уловлювання пилу під час зрошування.

**Ключові слова:** гідроімпульс, гідрознепилювання, повітря, пил, краплі.

**V. Gogo. Yu. Bulgakov.** Influence of Hydrodynamic Pulsating in Irrigation on Effective Catching of Dust. The paper presents the results of theoretical and experimental research of the positive influence of hydrodynamic pulsating on the efficiency of catching dust during irrigation.

**Keywords:** hydrodynamic pulsating, hydrodynamic cleaning, air, dust, drops.

© Гого В.Б., Булгаков Ю.Ф., 2011