

МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ВОЛНЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ БОРЬБЫ С ПЫЛЬЮ

*Гого В.Б., д.т.н., Данильчук О.Н., ст.преп.
Донецкий Национальный технический университет*

Актуальность темы. Проблема борьбы с пылью в условиях угольных шахт и предприятий горно-металлургического комплекса весьма актуальна по этому разработка новых устройств с целью повышения эффективности улавливания частиц пыли каплями жидкости (орошение), требует исследования процессов, в частности, влияния импульса давления в потоке, чтобы обосновать конструкции высокоэффективных процессов и систем.

Исследуем двумерное волновое возмущение, вносимое в поток, и нелинейные эффекты перемещений капель жидкости и частиц пыли в заданном объеме дисперсного пыле-газо-капельного потока для активизации их взаимодействий. Полагаем, что капли жидкости и частицы пыли равномерно распределены в исследуемом объеме газа (рис. 1), в котором создано двумерное волновое возмущение.

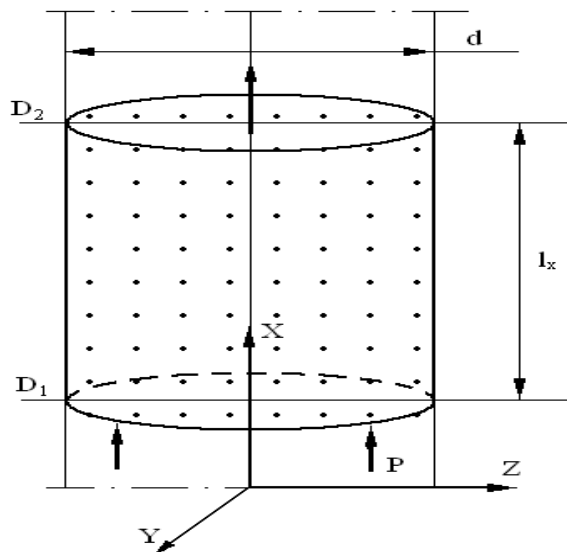


Рис. 1. Схема исследуемого объема пыле-газо-капельного потока

Импульс давления реализуется при действии на исследуемый объем потока граничного давления при условиях:

$$x(t_0) = x_0;$$

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

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

Принимая, что поток идеальный и в лагранжевых переменных может быть описан уравнениями:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(10)

где ρ - плотность смеси;
 P - 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;
 γ - показатель адиабаты газа;
 a - средний радиус фазовой области;
 α - 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 в программной реализации MathCad 2001 и даёт иллюстрацию эффекта нелинейности эволюции волнового импульса. На рис. 2 представлены теоретическая и экспериментальная зависимости распространения импульсного воздействия в исследуемом объёме газожидкостной смеси в цилиндрической трубе. Аналитическое выражение функции эволюции волнового импульса имеет вид:

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

(11)

где P_0 - начальное давление (в начальном сечении трубы); Δ - амплитуда импульса давления; ε - показатель таймерного воздействия.

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

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

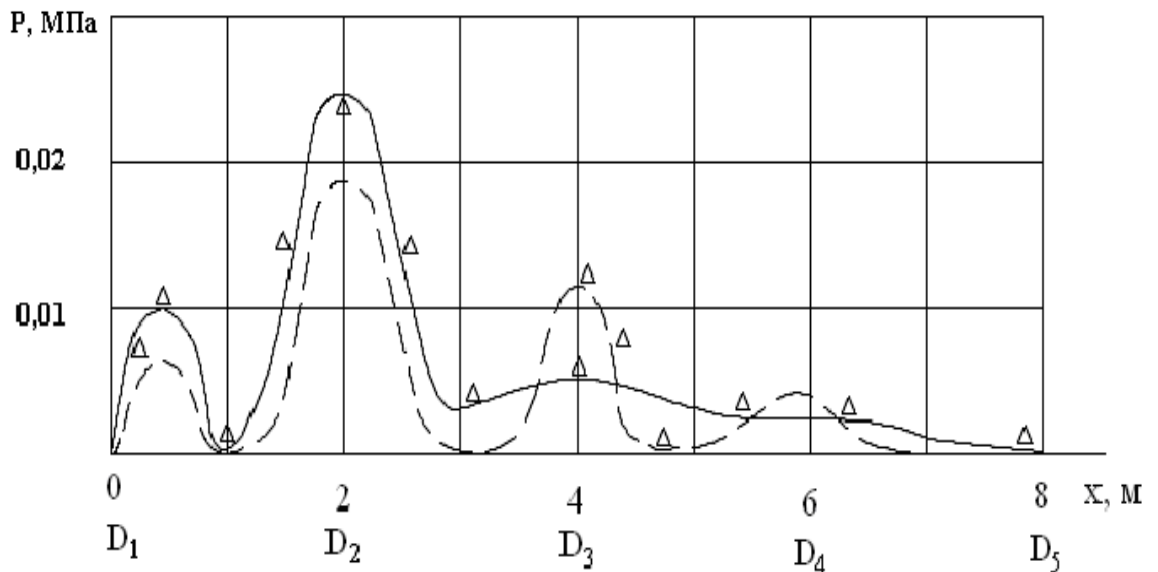


Рис. 2. Теоретическая и экспериментальная зависимости распространения импульсного воздействия в исследуемом объёме газожидкостной смеси (пунктир - теория; Δ - эксперимент)

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 газа от оси потока к боковой поверхности при поступательном движении потока. В сечении 3 происходит наложение двух амплитуд – амплитуды основного импульса потока и амплитуды отраженного импульса второго сечения. Следовательно, полученная амплитуда, регистрируемая датчиком (D_3), отличается от начального импульса, а это определяет, что амплитуда давления в соответствующей координате, хотя и меньше амплитуды начального импульса, однако превышает амплитуду пришедшего возмущения.

Выводы. Таким образом, распространение импульса конечной длительности в пыле-газожидкостном потоке цилиндрической трубы проявляется с возрастанием амплитуды давления по отношению к амплитуде начального импульса, что усиливает действие капель на частицы пыли.

Если применить специальную конструкцию рабочего объема трубы газоочистного устройства, например, с промежуточными сечениями формирования импульсов диффузор-конфузорного типа, или специальные импульсно-волновые форсунки для орошения, то эффект распространения импульса давления возрастает, т.к. импульс давления усиливает турбулентное взаимодействие компонентов потока – капель жидкости и частиц пыли, что активизирует их контактное взаимодействие и повышает эффективность очистки газа от частиц пыли.

Гого Володимир Бейлович
Данильчук Оксана Миколаївна

Математическая модель процесса гидрообеспыливания и кондиционирования рудничного воздуха

Резюме. В статье изложена сущность математической модели комплексного процесса гидрообеспыливания и кондиционирования воздуха в горных выработках глубоких шахт.

Ключевые слова: угольная шахта, гидрообеспыливания, пыль, импульс, волна.

Математична модель процесу гідро обезпилювання і кондиціювання рудничного повітря

Резюме. Викладено сутність математичної моделі комплексного процесу гідрознепилення та кондиціювання повітря у гірничих виробках глибоких шахт.

Ключові слова: вугільна шахта, енергозабезпечення, імпульс, пил, хвиля

A mathematical model of hydro dust control process and air conditioning in mines.

Summary. The essence of the mathematical model of complex hydro dust removal process and air conditioning in deep mines' workings is presented.

Key words: coal mine, power supply, pulse, dust, wave.