

## ТЕОРИЯ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СТРУИ ЖИДКОСТИ С ПРЕПЯТСТВИЯМИ

Мосеров К.Н., Полтавец В.В. (кафедра МСМО, ДонНТУ, г.Донецк, ДНР)

**Аннотация.** В данной статье представлены математическое описание силы гидромеханического воздействия с параметрами системы подачи СОЖ в зону резания.

**Ключевые слова:** СОЖ, математическая модель, насадка, струя, стружка, сыпучие материалы

В настоящее время практически отсутствуют исследования потоков жидкости как средства для эвакуации и транспортирования и силового воздействия на сыпучие материалы.

Проанализируем существующие способы теоретического описания силы гидромеханического воздействия с параметрами системы подачи СОЖ в зону резания.

В связи с этим представляется актуальным с единых теоретических позиций рассмотреть и установить основные закономерности гидромеханического воздействия струй жидкости на различные сыпучие материалы – металлическую и неметаллическую стружку, разрушенный уголь, руды различных металлов и т.д. и на этой основе разработать методику определения основных параметров устройств, предназначенных для гидромеханического воздействия на сыпучие материалы.

Анализ литературных источников показал, что достаточно полно теоретически исследованы только затопленные непрерывные струи, и которым относят струи, распространяемые в среде с той же плотностью, вязкостью и с такими же физическими свойствами. Незатопленные же водяные струи имеют плотность вещества жидкости больше плотности среды (воздуха), в которую они истекают, а характер физических явлений при истечении воды из насадок в предлагаемых технических решениях отличен от тех явлений и закономерностей, которые имеют место при газовых затопленных струях. Поэтому для моделирования предлагаемых систем с гидромеханическим воздействием струй на сыпучие материалы необходимо установить и проанализировать зависимости, позволяющие определить основные параметры незатопленных струй.

Для теоретического определения силы давления струи жидкости на твердую преграду используют гидравлическое уравнение количества движения (уравнения секундного движения) [1]

$$\sum P_x = Q_m(V_{2x} - V_{1x}). \quad (1)$$

Смысл этого уравнения заключается в следующем: при переходе от одной выделенной в потоке контрольной поверхности к другой поверхности сумма проекций на любую координатную ось внешних сил  $P_x$ , действующих на отсек потока между контрольными поверхностями, равна произведению массового расхода потока  $Q_m$  на приращение проекций на ту же ось средних скоростей жидкости  $V_{2x}$  и  $V_{1x}$ , движущейся через контрольные поверхности [1].

После преобразований гидравлического уравнения количества движения (1), получают силу давления перед насадком

$$P_x = 2\mu\phi\omega_H\rho gH, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости;

$\mu$  -динамическая вязкость жидкости;

$\omega_H$  - живое сечение потока;

$g$  – ускорение свободного падения;

$H$  – напор.

Зависимость (2) может быть использована при моделировании и определении параметров устройств, предусматривающих подвод жидкости непосредственно в зону транспортирования сыпучего материала. В этом случае взаимодействия потока жидкости с потоком сыпучего материала предусматривается непосредственно в конце насадка, как например, в одном из технических решений в соответствии с [1].

Однако, уравнение (2) справедливо только для начального участка струи. С удалением от насадка сила уменьшается – это легко показать, применяя уравнение Бернулли для двух сечений горизонтальной струи относительно плоскости сравнения, проходящего по ее оси. В этом случае можно записать:

$$\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + H_{\text{пот.}}$$

где  $\alpha$  – коэффициент Кориолиса.

Потери напора обусловленные действием внешней среды, трением и завихрением частиц, приводят к уменьшению кинетической энергии, а следовательно, и к уменьшению средней скорости  $V_2$  по мере удаления струи от места ее выхода из насадка

В соответствии с уравнением неразрывности снижения скорости по длине вызывает расширение струи. Этот процесс сопровождается захватом частиц внешней среды струей, следовательно, расходуется кинетическая энергия – струя затормаживается и, наконец, разрушается. Незатопленная водяная струя, вылетающая из насадки, имеет три характерных участка: первый участок, называемый начальным ( $L_H$ ), характеризуется наличием плотного ядра, в котором скорости и динамические давления постоянны и равны скорости и динамическому давлению при вылете струи из насадка; на втором участке, называемом основным ( $L_{\text{осн}}$ ), струя воды, хотя и имеет ещё сравнительно плотную центральную зону, но на поверхности уже насыщена пузырьками воздуха; на третьем участке, называемом неэффективным ( $L_{\text{неэф}}$ ), струя состоит главным образом из разорванных струек и капель воды в воздушной среде.

Очевидно, что при разработке систем с гидромеханическим воздействием на сыпучие материалы с целью достижения наибольшей их эффективности следует использовать именно начальный участок струи, в пределах которого ядро сплошного

нераспавшегося потока движется с постоянной скоростью, равной скорости истечения потока из отверстия насадка. Оценочно для водяных незатопленных струй в частности, для гидромониторных, длина начального участка в соответствии с [1] может быть принята

$$L_H = (140 - 145)d_H$$

где  $d_H$  - диаметр насадка.

В общем случае длина начального участка зависит от многих факторов, в первую очередь – от начальных параметров струи. В зависимости от начальных параметров струи, применяемых для гидромеханического воздействия, в [3] предложена их классификация (см. табл.1).

<b>Группа струй</b>	<b>Диаметр насадка, <math>d_o</math>, мм</b>	<b>Начальное давление, <math>p_o</math>, МПа</b>	<b>Расход воды, <math>Q</math>, м<sup>3</sup>/ч</b>	<b>Рабочая длина струи <math>L</math>, м</b>
<i>1. Низконапорные водяные струи</i>	50-190	0,3-2	500-4000	10-80
<i>2. Водяные струи среднего давления</i>	14-15	3-13	70-400	0,3-10
<i>3. Водяные струи высокого давления</i>	4,5-12	15-30	10-50	0,1-4
<i>4. Тонкие водяные струи высокого давления</i>	1-4	35-60	2-30	0,02-0,4
<i>5. Струи сверхвысокого давления</i>	0,2-0,9	70-300	2-22	0,005-0,05

Влияние начальных параметров струи на безразмерную длину начального участка устанавливается зависимостью, полученной экспериментально [1]

$$\frac{L_H}{d_o} = f(Re).$$

Эта зависимость для низконапорных водяных струй и струй среднего давления (в соответствии с приведенной классификацией) выражается уравнением

$$\frac{L_H}{d_o} = A - BRe,$$

где  $Re$  – число Рейнольдса для начального сечения струи, определяемое как

$$Re = \frac{v_o d_o}{\nu},$$

где  $v_o$ -скорость истечения струи;

$d_o$  - диаметр насадка;

$\nu$  – кинематический коэффициент вязкости (для воды при  $t=20^\circ \text{C}$   $\nu = 0,0101$ );

А и В – эмпирические коэффициенты, значения которых определяется конструктивными особенностями струеформирующего устройства.

Эффективность предлагаемых транспортирующих устройств с дополнительным гидромеханическим воздействием на сыпучие материалы в конечном счете определяется величиной силы действия струи на перемещаемый материал.

Для получения зависимости, позволяющей определять силу действия струи на плоскую гладкую преграду, используется теорема о количестве движения. В результате получается уравнение для всех видов струй приведенной классификации

$$P = F \rho_{\text{ср}} v_{\text{ср}}^2,$$

где  $v_{\text{ср}}$  - средняя скорость струи на расстоянии L от насадка до преграды;

Fп – полная площадь поперечного сечения аэрированной струи на расстоянии L от насадка;

$\rho_{\text{ср}}$  – средняя плотность аэрированной струи на расстоянии L от насадка.

Средняя скорость струи v на расстоянии L от насадка определяется исходя из выражения

$$p_x = \frac{\rho v_x^2}{2}.$$

После преобразования равенства (4) с учетом размерностей и коэффициента скорости получаем

$$v_x = 43,96 p_x^{0,5}, \text{ м/с.}$$

Здесь p – давление в МПа, а индекс x обозначает положение точки в сечении струи с определенными давлением и скоростью.

Средняя скорость по сечению струи определяется из выражения

$$v_{\text{ср}} = 43,96 p_{\text{ср}}^{0,5}.$$

В общем случае среднее динамическое давление струи  $p_{\text{ср}} = f_1(p_0, L/d_0)$  и определяется по эмпирическим уравнениям в зависимости от вида струи.

Средняя плотность аэрированной струи на расстоянии L от преграды  $\rho_{\text{ср}} = f_2(p_0, L/d_0)$  и определяется также по эмпирическим уравнениям в зависимости от вида струи в соответствии с приведенной классификацией. [2]

Регрессионная модель представляется в виде [3]

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^N b_i x_i + \sum_{i=1}^N b_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j}^N b_{ij} x_i x_j + \sum_{i < j < l}^N b_{ijl} x_j x_l + \dots$$

Кубическая трехмерная модель имеет вид

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{112}x_1^2x_2 + b_{112}x_1x_2^2 + b_{111}x_1^3 + b_{222}x_2^3$$

Из приведенных выражений видно, что для нелинейных моделей объём вычислительной работы существенно возрастает по сравнению с линейными моделями.

В тоже время оценка степени адекватности линейных моделей показала их практическую непригодность для использования даже в инженерных расчётах. [2]

Для её уменьшения рекомендуется различные приемы, в частности, «кодирование» величин, возводимых в степень, и др. Однако объём вычислений применительно к неавтоматизированным расчетам для полиномов высоких порядков и в этом случае остается весьма значительным. Поэтому при разработке нелинейных моделей использованы специальные компьютерные программы, для чего зависимость представлена в виде

$$y = F_{гд}(d, L, p) = \sum_{i=0}^k b_i \cdot d^{I_i} \cdot L^{J_i} \cdot p^{G_i},$$

где –  $b_i$  коэффициенты уравнения множественной регрессии ( $i=0,1, \dots, k$ );

$I_i, J_i, G_i$  – показатели степени при независимых переменных уравнениях регрессии;

$k$  – число членов уравнения регрессии.

В дальнейшем планируем по описанным методикам определить силу гидродинамического воздействия струи СОЖ на отделенные при обработке частицы материалов и элементы микрогеометрии поверхности для того, чтобы проверить возможность их пластического деформирования под воздействием СОЖ.

**Список литературы: 1.** Нечепав В.Г. Теоретические предпосылки моделирования и разработки транспортирующих устройств с гидромеханическим воздействием / В.Г. Нечепав // Сборник научных трудов. – 1997. - №4. – С. 104-113.

**2.** Нечепав В.Г. Математические модели для определения силы гидродинамического воздействия незатопленных струй / В.Г. Нечепав // Международный сборник научных трудов. – 2001. - №15. – С. 209-218.

**3.** Шавловский С.С. Основы динамики струй при разрушении горного массива / С.С. Шавловский // Наука. – 1977. –С. 173.