Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LXV вып. 1, 1973 г.

О НЕКОТОРОЙ ФОРМЕ ОБОБЩЕННОГО УРАВНЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ДВИЖЕНИЮ ГИДРОСМЕСЕЙ

К. Корбель

В практике трубопроводного гидротранспорта сыпучих материалов обычно используется уравнение гидравлических сопротивлений типа

$$I = I_0 + \Delta I. \tag{1}$$

Первая компонента зависимости выражает гидравлический уклон при движении чистой воды, вторая представляет собой добавочные сопротивления движению, обусловленные присутствием твердого материала. На основании экспериментальных данных, полученных независимо разными исследователями [5], а также теоретических предпосылок [6, 7] установлено, что гидравлический уклон, связанный с транспортом твердого материала, обратно пропорционален скорости движения смеси. Принимая во внимание, что согласно закону Дарси I_0 является квадратичной функцией скорости движения, уравнение (1) можно представить в виде

$$I = A\,v^2 + \frac{B}{v} \tag{2}$$

Коэффициенты A и B в общем случае являются сложными функциями многих параметров, характеризующих как смесь, так и транспортирующий трубопровод. Форма этих зависимостей, установленная эмпирическим путем различными авторами для разных условий гидравлического транспорта, является очень разнородной. В связи с этим родилась мысль обработки обобщенного уравнения, в котором коэффициенты A и B были бы заменены некоторыми комплексами, характеризующими смесь и условия ее движения. Н. А. Силин [6] предложил принять для этого величины гидравлического уклона $I_{\min}$ и скорости движения $v_{\min}$, соответствующие минимуму функции (2). Полученные при этом обобщенные уравнения сопротивлений движению имеют вид

$$\frac{I}{I_{\min}} = \frac{1}{3}\left[\left(\frac{v}{v_{\min}}\right)^2 + 2\frac{v_{\min}}{v}\right] \tag{3}$$

Развивая идею обобщенного уравнения и предполагая линейную зависимость гидравлического уклона $I_{\min}$ и скорости $v_{\min}$ от соответству-

ющих величин, отвечающих критическим условиям движения гидросмеси, рекомендуем уравнение

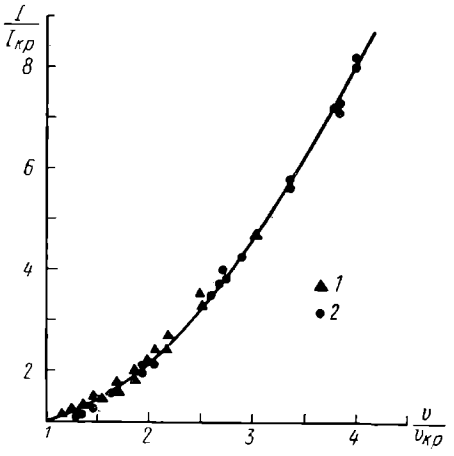
$$\frac{I}{I_{кр}} = m\left[\left(\frac{v}{v_{кр}}\right)^2 + n\frac{v_{кр}}{v}\right], \qquad (4)$$

которое по структуре соответствует аналогичной зависимости, полученной экспериментальным путем.

Основой для проверки формулы (4) служили результаты исследований (рисунок), проведенных на экспериментальных установках гидротранспорта Института гидрологии и гидротехники АН УССР, а также Института горного дела имени А. А. Скочинского. Экспериментальная кривая хорошо описывается уравнением

$$\frac{I}{I_{кр}} = \frac{1}{2}\left[\left(\frac{v}{v_{кр}}\right)^2 + \frac{v_{кр}}{v}\right], \qquad (5)$$

т. е. в зависимости (4), коэффициентам m и n можно приписать соответственно значения 0,5 и 1,0.



Обобщенная характеристика гидравлических сопротивлений гидросмеси.
1 — песок, 0,3—0,5 *мм*; *2* кл. 0—6 *мм*.

Следует обратить внимание на тот факт, что в практике гидротранспорта твердых материалов скорость движения поддерживается обыкновенно на критическом уровне. Поэтому более обоснованным кажется приведение соответствующих величин в уравнении (2) к рациональной скорости движения $v_{рац}$ и гидравлическому уклону $I_{рац}$. При этом под рациональными условиями движения понимаются такие, при которых гидравлический уклон, приведенный к единице транспортируемого твердого материала, является минимальным. Минимизация гидравлического уклона имеет большое значение, потому что она связана с понижением расхода энергии на транспортирование. Чтобы найти связь коэффициентов A и B с параметрами $I_{рац}$ и $v_{рац}$, следует предварительно определить функцию гидравлического уклона I

$$I' = \frac{I}{Q_s}, \qquad (6)$$

где Q_s — расход твердого материала.

Учитывая, что

$$Q_s = k\,v, \qquad (7)$$

а также зависимости (2), (6) и (7), получаем

$$I' = A'\,v + \frac{B'}{v^2}, \qquad (8)$$

где

$$A' = \frac{A}{k}, \quad B' = \frac{B}{k}$$

Функция, описанная уравнением (8), имеет экстремум при скорости движения

$$v_{\text{рац}} = \sqrt[3]{\frac{2B}{A}} \tag{9}$$

Гидравлический уклон при движении с рациональной скоростью выражается зависимостью

$$I_{\text{рац}} = A\, v_{\text{рац}}^2 + \frac{B}{v_{\text{рац}}}. \tag{10}$$

Решение системы уравнений (9) и (10)

$$A = \frac{2}{3}\,\frac{I_{\text{рац}}}{v_{\text{рац}}^2}, \quad B = \frac{1}{3} I_{\text{рац}}\, v_{\text{рац}} \tag{11}$$

позволяет привести уравнение гидравлических сопротивлений (2) к обобщенному виду

$$\frac{I}{I_{\text{рац}}} = \frac{1}{3}\left[2\left(\frac{v}{v_{\text{рац}}}\right)^2 + \frac{v_{\text{рац}}}{v}\right] \tag{12}$$

Кривая $I=f(v)$ в области, определяющейся рациональными условиями, может быть с достаточной точностью аппроксимирована прямой линией. С тем большей достоверностью можно утверждать существование линейной зависимости между $v_{\text{рац}}$ и $v_{\text{кр}}$, $I_{\text{рац}}$ и $I_{\text{кр}}$, а также определить их численные выражения на основании уравнения экспериментальной кривой (5) и обобщенного уравнения (12). В результате простых преобразований получаем следующие зависимости:

$$v_{\text{рац}} = 1{,}26\, v_{\text{кр}}, \tag{13}$$

$$I_{\text{рац}} = 1{,}19\, I_{\text{кр}}. \tag{14}$$

Предложенная форма обобщенного уравнения гидравлических сопротивлений, сохраняя основные свойства уравнений этого типа, обладает тем достоинством, что ориентирует на зависимость от рациональной скорости движения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wilson W. E. Mechanics of flow with noncolloidal inert solids. Proc. ASCE, 1946, vol. 67.
2. Durand R., Condolios E. The hydraulic transport of coal and solid material in pipes. Proc. Collog. on Hydraulic Transportation, 1952, Nov.
3. Newitt D. M. Hydraulic conveying of solids in horizontal pipes. Trans. Chem. Eng., 1955, vol. 33.
4. Трайнис В. В. Напорный гидротранспорт угля. «Уголь», 1956, № 3.
5. Котульский В. В. Гидравлическая теория напорного и безнапорного транспорта смеси твердых частиц с водой. «Гидротехн. стр-во», 1952, № 2.
6. Силин Н. А. Исследование взвесенесущих потоков высокой концентрации. Автореферат докт. дисс., Киев, 1964.
7. Силин Н. А., Витошкин Е. К. Гидротранспорт угля по трубам. Киев, Изд. АН УССР, 1964.