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

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ДВИЖЕНИЯ ГИДРОСМЕСЕЙ ВЫСОКОГО НАСЫЩЕНИЯ

В. Н. Покровская

Исследования движения по пульповодам гидросмесей с различной степенью насыщения [1, 2] показали, что процесс этот является вероятностным, это обусловливается случайным характером распределения частоты пульсаций скоростей и возникновения турбулентных вихрей в потоке. С ростом концентрации гидросмеси взвесенесущая способность потока увеличивается, при этом интенсивность его механического воздействия на твердую компоненту возрастает, вероятность столкновения частиц между собой повышается. Высокая эффективность транспортирования насыщенных гидросмесей определяется затуханием интенсивности турбулентного перемешивания потока, уменьшением относительной скорости движения твердой фазы, образованием пристеночного слоя малого насыщения, играющего роль смазки, и повышением плотности несущего жидкостного потока.

В результате анализа взаимодействия сил на частицы твердого в потоке гидросмеси и исследования вероятности контактирования их между собой был получен ряд зависимостей, помогающих оценить особенности движения гидросмесей с различной степенью насыщения и характеризующих степень влияния параметров транспортирования на механизм движения гидросмеси. Так, было установлено, что интенсивность турбулентного перемешивания и пульсаций скоростей в потоке снижается с насыщением гидросмеси, степень влияния их на перенос твердой компоненты при этом уменьшается.

Относительная интенсивность турбулентности потока гидросмеси $\Delta_т$ может быть выражена зависимостью

$$\Delta_т = \frac{\sqrt{\overline{U_в^2}}}{v} \quad \frac{\delta}{C^m} K_{одн}, \tag{1}$$

где $\delta = d/D$; d — диаметр частиц; D — диаметр пульповода; C — объемная концентрация гидросмеси; $K_{одн}$ — коэффициент фракционной однородности гидросмеси; m — показатель степени, являющийся функцией крупности и объемного веса транспортируемого материала; $\frac{\sqrt{\overline{U_в^2}}}{v}$ —

относительная интенсивность турбулентности жидкостного потока (Драйзен и Кьюз, 1930)

С увеличением концентрации гидросмеси снижается и относительная скорость движения частиц в потоке, что вызвано взаимотрением и ростом частоты соударений частиц. Частота соударений частиц может быть охарактеризована следующей зависимостью

$$n = \frac{\pi d^2}{4} \gamma_i \bar{v}, \qquad (2)$$

где n — показатель частоты соударений частиц; v средняя скорость движения частицы; γ_i — число частиц в элементарном объеме, соответствующем цилиндру, основание которого равно поперечному сечению частицы, а длина определяется длиной пути, проходимого частицей в единицу времени.

Относительная скорость движения твердой компоненты $v_{отн} = v_ж - v_т$ (*м/сек*)

$$v_{отн} = \sqrt{\frac{\pi d g \rho_т}{6\psi_{ст} \rho_{н.ж}} \frac{\rho_т - \rho_{н.ж}}{\rho_{н.ж}} (1 - \eta\xi) - (K\bar{v})^2}, \qquad (3)$$

где g — ускорение свободного падения, *м/сек*^{2}; $\rho_г$, $\rho_{н.ж}$ — объемный вес соответственно твердой и жидкой компоненты ($\rho_{н.ж} > \rho_0$ с учетом насыщения несущей жидкости мельчайшими частицами твердой фазы); $\psi_{ст}$ — коэффициент сопротивления при обтекании частиц в стесненных условиях насыщенного потока; η — коэффициент вероятности столкновения частиц; ξ — коэффициент, характеризующий взаимотрение слоев гидросмеси в потоке ($\xi = 0{,}16 \div 0{,}2$); K — коэффициент, характеризующий отношение $\bar{U}_в / \bar{v}$; $\bar{U}_в$ — среднее значение вертикальной составляющей скорости движения потока.

Критическая скорость движения гидросмеси также претерпевает изменения с увеличением концентрации, причем характер этой зависимости различен и определяется главным образом гранулометрической характеристикой потока. На рис. 1 и 2 приведены графики зависимостей $v_т = f(\rho_{гс})$ и $v_{кр} = f(\rho_{гс})$, построенные на основании экспериментальных данных, полученных автором и другими исследователями [3].

Анализ этой зависимости показывает, что значение $v_{кр}$ возрастает пропорционально концентрации гидросмеси лишь до определенной степени насыщения потока ($C = 0{,}12 \div 0{,}15$); при дальнейшем увеличении концентрации значение $v_{кр}$ для гидросмесей с диаметром частиц $d_{ср} \geqslant (2 \div 3)$ *мм* остается практически постоянным, а для более мелких фракций имеет место даже его снижение. Последнее особенно характерно для тонкодисперсных гидросмесей ($d < 0{,}5$ *мм*). Следует отметить, что примерно такое же значение концентрации гидросмеси является граничным и для снижения относительной скорости движения твердой компоненты.

Зависимость критической скорости гидросмеси от параметров потока может быть с достаточной точностью описана выражением

$$v_{кр} = \delta_1^2 \sqrt[5]{C} \sqrt{2gD \frac{\rho_т - \rho_{н.ж}}{\rho_{н.ж}}}, \qquad (4)$$

где $\delta_1 = \frac{d_{гр}}{d_{ср}}$; $d_{гр}$ — граничное значение крупности частиц, выпадаю-

щих в осадок, зависящее от концентрации гидросмеси.

Анализ данной зависимости показывает, что закономерность изменения $v_{кр}$ в функции насыщения потока определяется взвесенесущей способностью потока δ, концентрацией твердой фазы, вызывающей усиление эффекта механического воздействия потока на твердую компоненту и уменьшение относительного веса частиц в потоке

$$\left(\frac{\rho_т - \rho_{н.ж}}{\rho_{н.ж}} < \frac{\rho_т - \rho_0}{\rho_0}\right).$$

Общее сопротивление движению гидросмеси с ростом концентрации увеличивается, но также до определенных граничных значений насыщения, несколько превышающих значения, характеризующие зависимость $v_{кр} = f(\rho_{тс})$, $v_т = f(\rho_{тс})$; при дальнейшем росте насыщения имеется тенденция к стабилизации роста сопротивлений (рис. 3). Характер изменения гидравлических сопротивлений при движении потока гидросмеси по пульповоду определяется турбулентными пульсациями, образованием и распадом в пристеночной

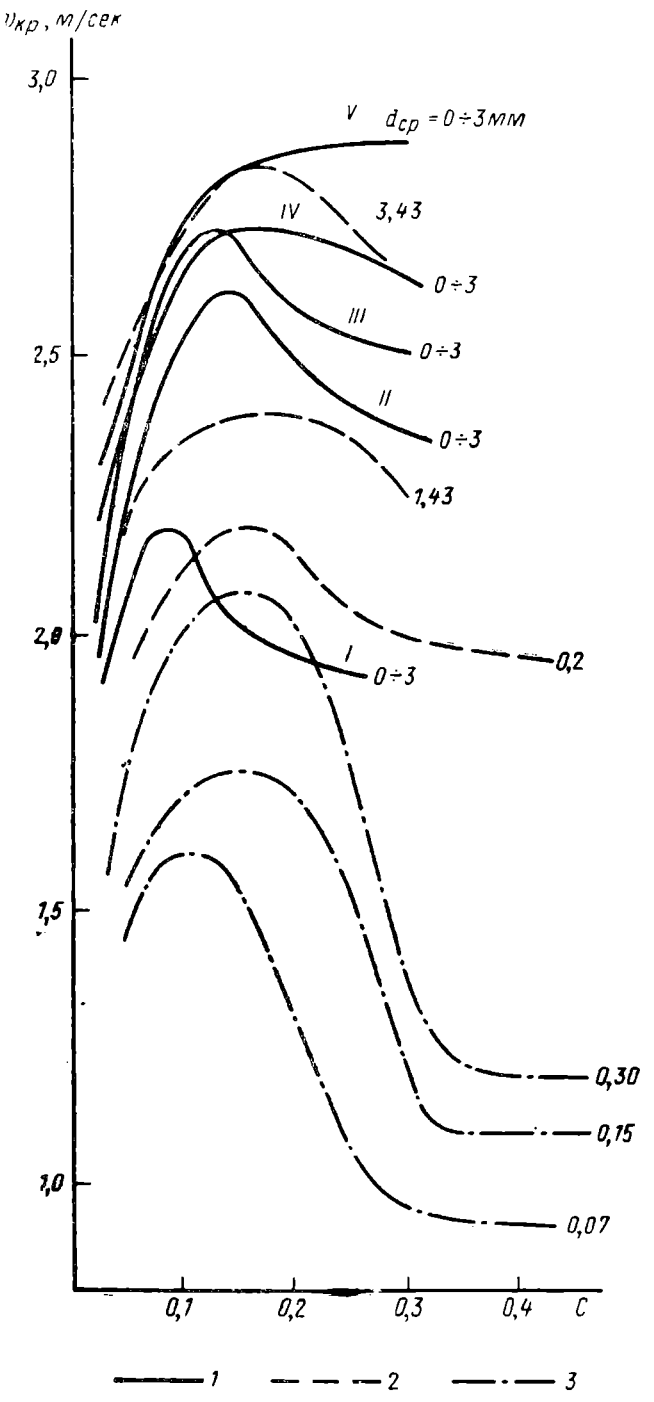


Рис. 1. Графики зависимости $v_{кр} = f(C)$

I — уголь (зольность A^c, %; сланец — *I* 8,22; *II* — 23,64; *III* — 28,32; кварц — *IV* — 15,35; *V* — 25,42); кварцевый песок; *3* — хвосты обогащения.

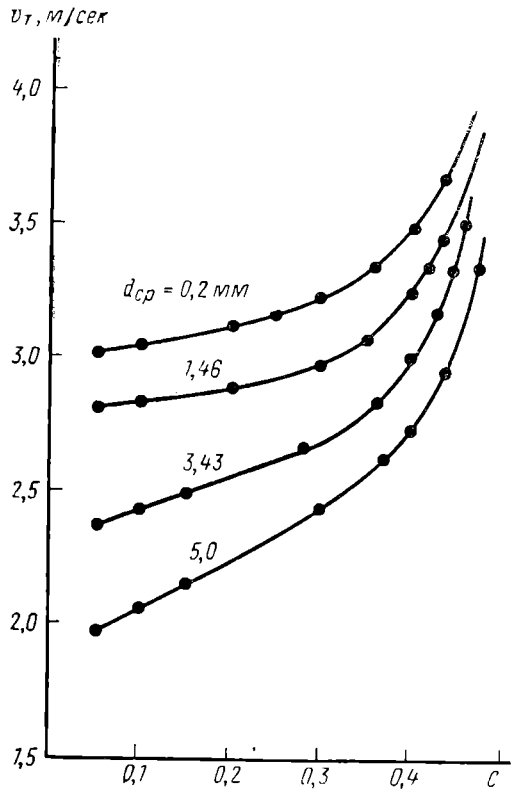


Рис. 2. Графики зависимости $v_т = f(C)$.

зоне потока вихрей, определяющих беспорядочное движение частиц и степень вероятности их столкновений между собой и со стенками пульповода.

Энергия (*кгс·м*) воздействия твердой компоненты на внутреннюю поверхность пульповода, если считать частицы твердого шарообразными,

$$Э = \frac{\pi \rho_г}{6} \frac{\overline{v}^2}{2g} C D^2 L, \qquad (5)$$

т. е. энергия, обусловленная воздействием потока гидросмеси на ограничивающие поток стенки, определяется весом частиц транспортируемого материала, гидродинамическим напором, концентрацией гидросмеси. Удельная энергия, приведенная к единице длины транспортирования и производительности установки по гидросмеси,

$$\Delta Э = \frac{Э}{Q L} = \frac{4Э}{v \pi D^2 L \rho_{гс}} = \frac{\rho_т}{3\rho_{гс}} \frac{\overline{v}}{2g} C. \qquad (6)$$

Следовательно, интенсивность воздействия гидросмеси в пристеночной зоне, в основном определяющая величину гидравлических сопротивлений, обусловливается насыщенностью потока, весом транспортируемого материала и скоростью движения гидросмеси.

Концентрация твердого в потоке гидросмеси оказывает различное влияние в зависимости от турбулентности потока и гранулометрической его характеристики. В начале насыщения потока твердой компонентой увеличение числа частиц в потоке вызывает усиление их взаимодействия между собой и нарушает структуру потока вокруг частицы; при достижении некоторой, определенной для каждого фракционного состава материала, степени насыщения потока характер взаимодействия частиц между собою изменяется, число соударений из-за ограниченной подвижности сокращается. Явление это особенно характерно для тонкодисперсных и глинистых материалов.

Эпюра распределения осредненных скоростей по сечению потока характеризуется ростом эксцентриситета динамической оси, относительно геометрической, с увеличением концентрации гидросмеси. При этом рост эксцентриситета наблюдается до определенной степени насыщения потока ($C = 0{,}15 \div 0{,}2$), после чего значение эксцентриситета остается постоянным; последнее обусловливается, видимо, ростом плотности несущей жидкости и увеличением сопротивлений в пристеночной зоне потока.

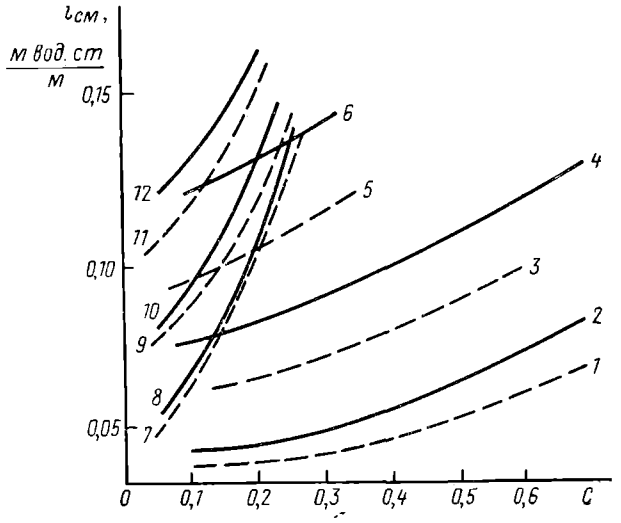


Рис. 3. Графики зависимости $i_{см} = f(C)$.

Кри	D, м	d, мм	, м/сек	Кривая	D, м	d, мм	, м/сек
	0,202		2,5	*7*	0,159	0,2	2,5
	0,202		2,5	*8*	0,159	1,46	2,5
	0,202		3,5	*9*	0,159	0,2	3,5
	0,202		3,5	*10*	0,159	1,46	3,5
	0,202		5,2	*11*	0,159	0,2	5,2
	0,202		5,2	*12*	0,159	1,46	5,2

Характер распределения локальных концентраций твердой компоненты в значительной степени определяется отношением скоростей движения частиц к скорости стесненного осаждения их в насыщенном потоке. В соответствии с этим имеют место два типа распределения твердой фазы по сечению потока.

Первый тип соответствует режиму полного взвешивания твердой компоненты в потоке жидкости, что типично для тонкодисперсных и мелкофракционных материалов, и характеризуется послоевым распределением плотностей с концентричным расположением их вокруг ядра, совпадающего с динамической осью потока и обладающего максимальным насыщением. Концентрация послойно снижается, достигая значений, близких к нулю, в пристеночной зоне. Расположение слоев и зоны их ограничивающие (зоны одинаковых значений C) совпадают с линиями изотах, соответствующими данным условиям движения потока. Снижение средней скорости потока вызывает смещение ядра концентрации. При этом нижняя граница ядра смещается на 1/3 своего диаметра от динамической оси потока. Явление это вызывается изменением давления по сечению потока и радиальным направлением пульсации.

В общем виде локальное значение концентрации C_i определяется выражением

$$C_i = C_{ср} \frac{\overline{v_т}}{\overline{v}}. \qquad (7)$$

В соответствии с эпюрой скорость движения частиц к центру трубы увеличивается, что вызывает также увеличение числа частиц по направлению к оси потока.

В зависимости от градиента концентрации количество радиально-движущихся частиц

$$n = -D_т \frac{dC}{dR}, \tag{8}$$

где R — радиус трубы; $D_т$ — коэффициент турбулентной диффузии; dC — локальная концентрация гидросмеси;

$$\frac{\overline{dn}}{dt} = \frac{\overline{v}}{R} \frac{\partial}{\partial R}(\overline{R}_n) = -\frac{\overline{v}}{R} \frac{\partial}{\partial R}\left(R D_т \frac{dC}{dR}\right). \tag{9}$$

Для установившегося движения $\overline{dn}/dt = 0$.

При устойчивом профиле концентрации величина $\overline{dn}/dt$ пропорциональна сопротивлению, действующему на частицы, и определяет поперечное смещение твердой фазы в скоростном поле. В соответствии с этим можно считать значение $\overline{dn}/dt$ пропорциональным локальной концентрации на радиусе R

$$\frac{\overline{dn}}{dt} = a C, \tag{10}$$

где a — ускорение частиц, перемещаемых турбулентной диффузией от стенок к центру, и замедление частиц, переносимых в противоположном направлении.

Величина a определяется как сопротивлением среды, так и инерцией частиц, движущихся через насыщенное поле турбулентного потока. При подстановке значения (10) в формулу (9) получаем

$$\frac{D_т}{R} \frac{\partial}{\partial R}\left(R \frac{dC}{dR}\right) + \frac{aC}{\overline{v}} = 0. \tag{11}$$

Для среднего значения a

$$C_{max} = C_0 J_0\left(R \sqrt{\frac{\overline{a}}{D_т \overline{v}}}\right), \tag{12}$$

где J_0 — постоянная функции нулевого порядка.

Следовательно, эпюра распределения концентрации по сечению потока определяется показателем $dR^2/(D_т\overline{v})$.

Второй тип распределения соответствует режиму движения потока, характеризующемуся его недостаточной взвешивающей способностью, т. е. когда $w_{ст} \geqslant U_в$ ($w_{ст}$ — скорость стесненного осаждения) и гравитационные силы, действующие на частицу, превалируют. При этом чаще всего ядро потока концентрируется в придонной его части, слои параллельны.

Выводы

1. Механизм движения гидросмесей высокого насыщения имеет свои специфические особенности, обусловленные повышением плотности несущей жидкости и ростом механического взаимодействия частиц твердого в потоке гидросмеси.

2. Гидравлические сопротивления, вызванные наличием в потоке твердой фазы, с увеличением консистенции потока до определенных

граничных значений имеют тенденцию к снижению, что определяет снижение удельных энергетических затрат на транспортирование.

3. Режим транспортирования с увеличением насыщения потока становится более устойчивым; значения критических скоростей, характеризующих взвешивающую способность потока, при этом снижаются и при определенных критических насыщениях становятся практически неизменимыми.

4. Насыщенные гидросмеси обладают высокой транспортирующей способностью, что имеет большое практическое значение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Покровская В. Н. Особенности режимов транспортирования гидросмесей высокого насыщения. «Проектирование и строительство угольных предприятий», 1970, № 2.

2. Покровская В. Н. Определение предельной концентрации гидросмеси. «Гидродобыча», 1969, № 2.

3. Покровская В. Н. Скорости движения твердой фазы в потоке гидросмеси. «Технология добычи угля подземным способом», 1971, № 4.