УДК 622.693.4

В.И. Александров, В.П. Докукин, А.К. Николаев

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ ПРИ ТЕЧЕНИИ ВЯЗКОПЛАСТИЧНЫХ ГИДРОСМЕСЕЙ

Течение вязкопластичных гидросмесей по трубопроводам сопровождается перераспределением концентрации твердой фазы по сечению потока. При структурном режиме течения и линейном характере распределения твердой фазы концентрация в ядре потока и в кольцевом пространстве составляет соответственно 1,6 и 0,8 от исходного содержания твердого.

The flow of viscous-plastic hydraulic fluid along the pipes is attended with redistribution of solid phase across the flow. Under structural operating conditions of the flow and the linear nature of solid phase distribution the calculation both in the flow centre and ring space comprises respectively 1,6 and 0,8 from the original solid content.

При исследовании течения по трубам гидросмесей, содержащих частицы малых размеров, крупностью -0,074 мм и содержанием до 60 %, основное внимание уделяется вязкопластичным характеристикам потока. Наблюдают четыре характерных режима течения: с неразрушенной структурой, с непрерывно разрушающейся и восстанавливающейся структурой, структурный режим течения и развитый турбулентный режим, когда увеличение скорости уже не влияет на вязкопластичные характеристики потока смеси. Каждый из этих режимов характеризуется своим значением так называемой псевдовязкости, чем подчеркивается отличие этой характеристики от физического понимания вязкости для реальных жидкостей.

В общем виде характер течения вязкопластичных или реологических жидкостей описывается формулой Букингама, получаемой путем интегрирования уравнения Бингама - Шведова, устанавливающего связь касательных напряжений в потоке от градиента скорости. Из формулы Букингама следует, что реологический поток в трубе радиуса R представляет собой сумму из расхода в центральной части трубы (ядро потока) с радиусом r_0 и расхода в кольцевом пространстве между r_0 и R. Использование формулы Букингама для расчета

параметров гидротранспорта при структурном режиме течения не всегда оправдано, что подтверждается применением линейной аппроксимации, когда результат получается при ограничении $r_0/R < 0{,}5$.

Наличие погрешности при использовании формулы Букингама связано с тем, что интегрирование уравнения Бингама - Шведова производится в предположении постоянной вязкости смеси. В действительности вязкость для каждой из рассматриваемых характерных областей потока (ядро потока и кольцевое пространство) имеет различные значения, так как для вязкопластичных гидросмесей вязкость является функцией концентрации твердой фазы. В гидросмеси с начальной концентрацией C при движении происходит перераспределение твердого по сечению трубы. Концентрация в ядре потока получает большее значение по сравнению с исходной концентрацией гидросмеси. Задача сводится к определению закономерности распределения концентрации в кольцевом пространстве между ядром потока и стенкой трубы.

Связь между исходной концентрацией вязкопластичного потока C, концентрацией C_0 в ядре потока и C_1 в кольцевом пространстве получим из соотношения балансного типа, т.е.

$$C\pi R^2 = \pi r_0^2 C_0 + \pi\left(R^2 - r_0^2\right)C_1,$$

откуда получим

$$C = \left(r_0^2/R^2\right)C_0 + \left(1 - r_0^2/R^2\right)C_1. \qquad (1)$$

Если принять $r_0/R = 0{,}5$, то $C_0 = 4C - 3C_1$.

Соотношение концентрации C_1 и C_0 получим из условия, при котором содержание частиц в кольцевом пространстве линейно уменьшается от значения C_0 на границе ядра потока с радиусом r_0 до $C_1 = 0$ на стенке трубы. Из рисунка следует, что

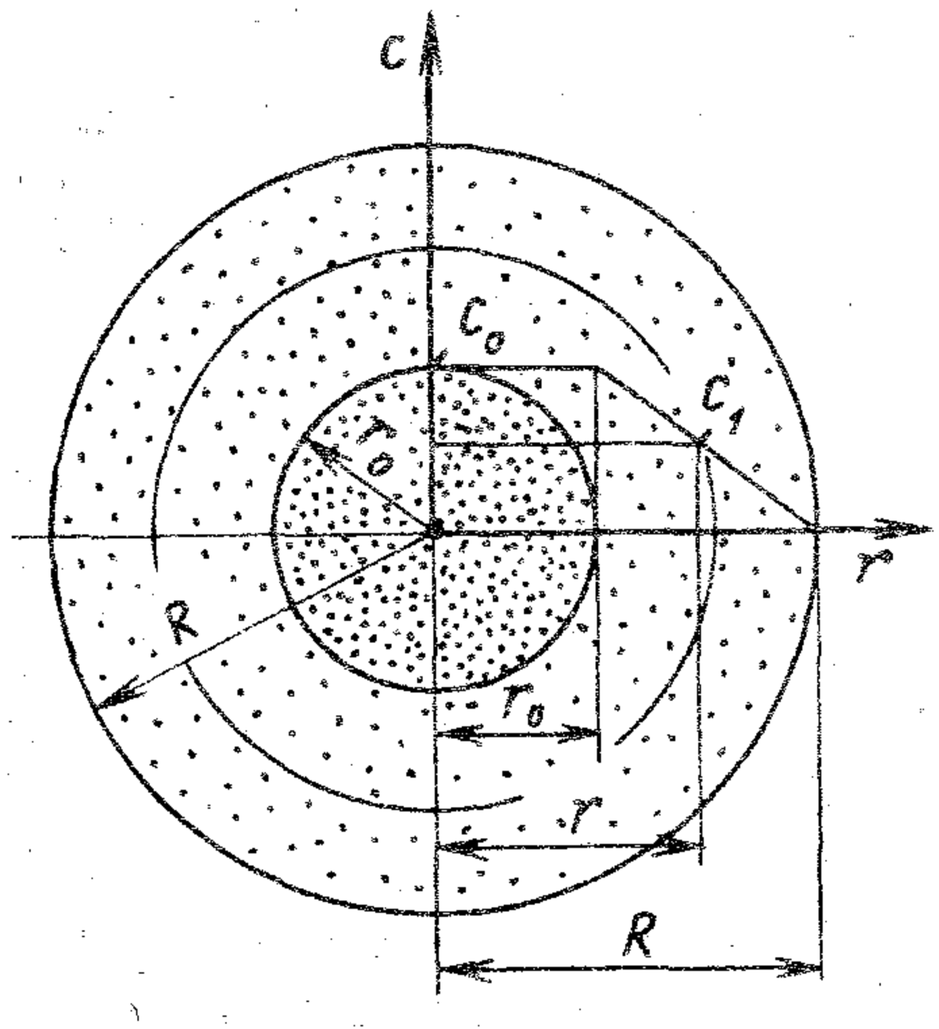
$$(C_0 - C_1)/(r - r_0) = C_0/(R - r_0).$$

Если для определенности принять $r = 1{,}5\, r_0$ и $R = 2r_0$, то

$$1 - (C_1/C_0) = 0{,}5r_0/(2r_0 - r_0);\ C_1 = 0{,}5C_0. \qquad (2)$$

Используя соотношение (1), получим

$$C_0 = 1{,}6C\ ; \qquad C_1 = 0{,}8C. \qquad (3)$$



Распределение твердой фазы по сечению трубы

Полученные значения концентрации показывают, что для условия $r_0/R = 0{,}5$ (не противоречащего формуле Букингама) концентрация частиц в ядре потока в 1,6 раза выше исходной концентрации вязкопластичной гидросмеси, а в кольцевом пространстве концентрация может быть рассчитана по формуле

$$C_1 = C_0(2 - r/r_0) ,$$

где r принимает значения от r_0 до $R = 2r_0$.

Для известных значений C, C_0 и C_1 определяются значения псевдовязкости в ядре потока и в кольцевом пространстве, что дает возможность рассчитать параметры структурного режима течения.

Выводы

1. При определении параметров вязкопластичного течения реологических гидросмесей необходимо учитывать значения концентрации твердой фазы соответствующих форм течения.

2. При линейном характере изменения распределения твердого по сечению кольцевого пространства концентрация твердого составляет 80 % исходной концентрации смеси.