УДК 622.799.5

А.К.НИКОЛАЕВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ

Выполнен анализ условий работы надземных пульповодов горных предприятий в условиях отрицательных температур. Приведены результаты исследований теоретических и экспериментальных исследований процесса теплообмена в двухфазном потоке с учетом распределения скорости и концентрации твердой фазы по поперечному сечению трубы.

The operation conditions of over-ground mining pipelines at subzero temperatures have been analyzed. The results of theoretical and experimental investigations of the heat exchange process in a two-phase flow with consideration for distributions of velocity and concentration of the solid phase over the pipe cross-section are presented.

Одним из путей улучшения качественных показателей работы горной промышленности является все более широкое распространение гидромеханизации и гидравлического транспорта руды и продуктов ее переработки. Однако, несмотря на достигнутые успехи, гидротранспорт на дальние расстояния в настоящее время применяется все еще в недостаточных объемах по нескольким причинам. Одной из них является недостаточная изученность температурных режимов гидротранспортных систем в зимнее время.

Поскольку гидротранспорт замерзает при отрицательных температурах, для проектирования магистральных пульповодов необходим более точный расчет теплообмена жидкости со стенкой трубы. Для этого следует рассмотреть двухмерную модель поля температуры в пульповоде с учетом распределения температуры по радиусу [1].

Наличие твердой фазы в потоке вызывает нарушение симметрии эпюр скоростей относительно оси потока (в вертикальной плоскости). Градиенты скоростей в верхней части потока оказываются меньшими, чем в нижней.

На основе экспериментальных данных [2, 3], используя показательный закон распределения скорости V по текущему радиусу трубопровода r диаметром $2R$ с учетом расстояния от дна трубы y и смещения динамической оси поля скоростей от геометрической оси трубопровода на величину Δ, получим зависимости для определения локальных скоростей:

$$V(r)=\begin{cases} V_1(r)=V_{\max}\left(1-\left(\dfrac{r-\Delta}{R}\right)^{n_1}\right) \text{ при} y\in[R+\Delta;2R] \\ V_2(r)=V_{\max}\left(1-\left(\dfrac{r+\Delta}{R}\right)^{n_2}\right) \text{ при} y\in[0;R+\Delta], \end{cases}$$

где показатели степени n_1 и n_2 определяются при обработке экспериментальных данных с учетом проведения полиноминальной регрессии.

Для условий транспортирования водопесчаных гидросмесей и хвостов обогащения руд цветных металлов (медь, никель, цинк) были получены значения $n_1 = 2{,}3$, $n_2 = 3{,}8$.

Хорошее приближение при транспорте гидросмеси в относительных координатах ($-1 \le Z \le 1$; $-1 \le y \le 1$) дает следующее соотношение:

$$V = V_{\max}\left(1-\left(Z^2+\left(\frac{y-\Delta}{1+\Delta}\right)^2\right)\right)\left(1-e^{10(y-1)}\right).$$

При гидротранспорте однофазной жидкости профиль скорости является осесим-

метричным ($\Delta = 0$) и образует параболоид вращения.

В работах [2, 3] выведена расчетная зависимость для построения профиля концентрации по поперечному сечению трубы:

$$S_{\text{л}} = S\left[1 + \left(\frac{S_{\text{пр}}}{S} - 1\right)\frac{V_{\text{кр}}}{V}\right]^{1-3\cdot\frac{y}{D}},$$

где $S_{\text{пр}} = 0{,}6$ – предельно возможная объемная концентрация твердых частиц в потоке при пористости твердого материала, равной 40; S – средняя концентрация твердых частиц.

Математическая модель процесса теплообмена для гидросмеси в пульповоде составляется в цилиндрической системе координат. Уравнение теплообмена:

$$C_{\text{р}} V \frac{\partial T}{\partial x} = \lambda_{\text{п}}\left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial r}\right) + \frac{\lambda_{\text{п}}}{r^2}\frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2},$$
$$r \in [0;1]\ ;\ \varphi \in [0\ ;\pi],$$

где V – средняя скорость по сечению трубы (по элементу сечения), r – текущий радиус.

Начальные и граничные условия:

$$(x):\ T\big|_{x=0} = T_0\ ;$$

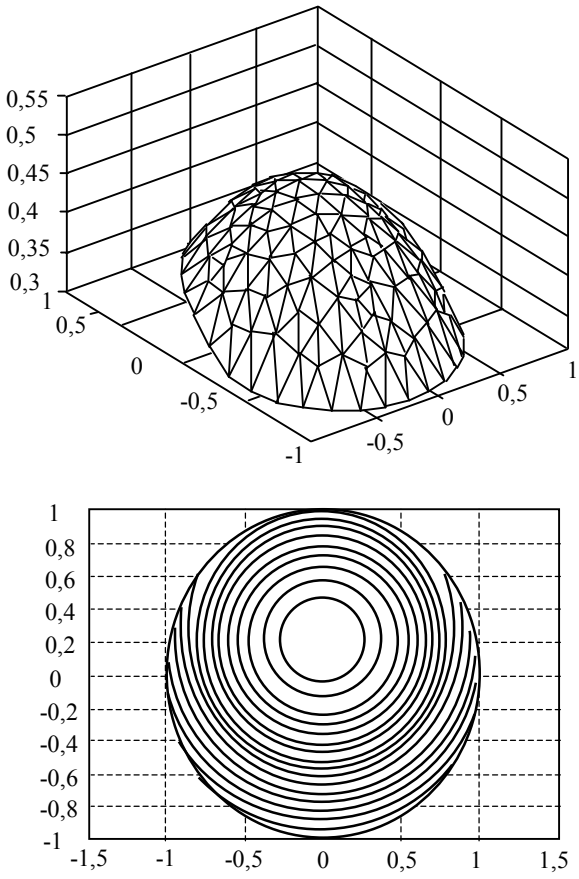
$$(r):\ \lambda_{\text{п}}\left.\frac{\partial T}{\partial r}\right|_{r=1} = \alpha\left(T - T_{\text{с}}\big|_{r=1}\right);$$

$$\left.\frac{\partial T}{\partial r}\right|_{r=0} = 0\ ;$$

$$(\varphi):\ \left.\frac{\partial T}{\partial \varphi}\right|_{\varphi=0} = 0;\quad \left.\frac{\partial T}{\partial \varphi}\right|_{\varphi=\pi} = 0\ .$$

При определении локального значения концентрации необходимо учитывать ее распределение по высоте трубопровода, которое связано с величиной угла следующим образом:

$$y = \begin{cases} 1 + \cos\varphi, \text{ при } \varphi \in \left[0;\ \dfrac{\pi}{2}\right], \\ 1 - \cos(\pi - \varphi), \text{ при } \varphi \in \left[\dfrac{\pi}{2};\ \pi\right]. \end{cases}$$



Результаты расчета безразмерной температуры по поперечному сечению трубы

Коэффициент теплопроводности гидросмеси определяется по формуле Оделевского:

$$\lambda_{\text{п}} = \lambda_{\text{ж}}\left[1 - \frac{S_{\text{л}}}{\dfrac{1}{1 - \dfrac{S_{\text{л}}}{P}} - \dfrac{1-S}{3}}\right],\ \text{где}\ \ P = \lambda_{\text{т}} / \lambda_{\text{ж}}.$$

На рисунке представлены результаты исследований математической модели на компьютере, которые подтверждают высказанные предположения о зависимости процесса теплообмена от распределения скорости и концентрации твердой фазы по поперечному сечению потока в пульповоде. Расчеты проводились в среде MatLab с использованием Toolbox PDE Tools.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Николаев А.К.* Экспериментальные исследования теплообмена при гидротранспорте сыпучих материалов / А.К.Николаев, В.И.Маларев, С.Л.Иванов // Гидравлика и пневматика, 2002. № 5.

2. *Силин М.А.* Распределение консистенции по глубине взвесенесущего потока / М.А.Силин, Ю.К.Витошкин, В.М.Карасик // Труды координационных совещаний по гидротехнике. Вып.57. Л.: Энергия, 1971.

3. *Силин М.А.* Гидротранспорт (вопросы гидравлики) / М.А.Силин, Ю.К.Витошкин, В.М.Карасик. Киев: Наукова думка, 1971.