

Консистентные кривые течения картофельной мезги

Д. т. н., проф. В.В. Пеленко, аспирант. Ф.В. Пеленко,
к. т. н. А.М. Ширшиков, к. т. н. В.П. Иваненко

Консистентные кривые течения нашли широкое применение в инженерной практике в противовес традиционным кривым течения, связывающим касательные напряжения сдвига со скоростями деформации сдвига для любой точки потока жидкости. При этом консистентные кривые течения связывают касательные напряжения на обтекаемой поверхности τ_{Π} с эквивалентной скоростью деформации сдвига на этой поверхности V_{Δ} .

Касательные напряжения на стенке вычисляются из выражения:

$$\tau_{\Pi} = \frac{D \cdot \Delta P}{4 \cdot L}$$

и обозначаются через R_{Π}

Параметр V_{Δ} записывается в виде:

$$V_{\Delta} = \frac{4Q}{\pi R^3} = \frac{8 \cdot V_{cp}}{D},$$

где $D=2R$ - диаметр трубы;

L - длина рассматриваемого участка;

ΔP -потери напора потока на длине L ;

Q -объемный расход жидкости;

$V_{\bar{n}\delta}$ -средняя скорость течения жидкости в трубе.

Для Ньютонских жидкостей параметр V_{Δ} представляет собой скорость деформации сдвига на поверхности трубы:

$$\frac{8 \cdot V_{\bar{n}\delta}}{D} = \dot{\gamma}_{\Pi}$$

Вполне очевидно, что между R_{Π} и V_{Δ} существует зависимость.

Как известно, если на обтекаемой поверхности отсутствует проскальзывание жидкости, ее реологические характеристики не зависят от времени, а течение стационарно и ламинарно, то функциональная корреляция R_{Π} и V_{Δ} не зависит от диаметра трубопровода, какой бы сложной не была при этом зависимость напряжений сдвига от скорости деформации сдвига. Таким образом, для труб различных диаметров вычисленные по перепаду давления и объемному расходу величины $R_{\Pi} = \frac{D \cdot \Delta P}{4 \cdot L}$ и $V_{\Delta} = \frac{32Q}{\pi D^3}$ ложатся на одну кривую, характеризующую свойство, называемое консистентностью. Названное свойство характерно так же и для неньютоновских жидкостей, хотя при этом $V_{\Delta} = \frac{8 \cdot V_{\bar{n}\delta}}{D}$ не совпадает с $\dot{\gamma}_{\Pi}$. В этом случае V_{Δ} равен скорости деформации сдвига на поверхности трубы для некоторого

ньютоновского течения при движении в трубе одного диаметра и равенстве расходов.

Графическую зависимость $P_{\Pi} = P_{\Pi}(V_{\Delta})$ называют консистентной кривой течения. Ее получают с помощью вискозиметров.

Известно, что если имеется функциональная зависимость $P_{\Pi} = f(V_{\Delta})$, то истинная кривая течения может быть найдена по консистентной кривой. Консистентные кривые течения по форме аналогичны истинным кривым течения, что позволяет аппроксимировать связь P_{Π} и V_{Δ} функциональной зависимостью вида:

$$P_{\Pi} = \kappa' \cdot V_{\Delta}^{n'}, \quad (1)$$

которая идентична степенному реологическому уравнению.

Величина \hat{e}' характеризует степень разжиженности текучей среды и называется показателем консистентности. Чем больше \hat{e}' , тем выше вязкость и ниже текучесть жидкости.

Параметр n' определяется из графической зависимости соотношением:

$$n' = \frac{d \left[\ln \frac{D \cdot \Delta P}{4L} \right]}{d \left[\ln \frac{8 \cdot V_{cp}}{D} \right]},$$

Величина n' характеризует отклонение физических свойств жидкости от ньютоновской и называется показателем ньютоновского поведения жидкостей.

Таким образом, \hat{e}' и n' называют консистентными характеристиками жидкости.

Учитывая идентичный структурный характер степенной зависимости и степенного реологического уравнения, между реологическими и консистентными характеристиками могут быть записаны следующие теоретические соотношения:

$$n = \frac{n'}{1 - \frac{1}{3n'+1} \cdot \frac{d[n']}{d[\ln P_{\Pi}]}}$$

$$\hat{e}' = \hat{e} \cdot \left(\frac{3n+1}{4n} \right)^n$$

При экспериментальных данных, дающих в некотором диапазоне изменения $V_{\Delta} = \frac{8 \cdot V_{\dot{\gamma}}}{D}$ линейную логарифмическую зависимость P_{Π} от V_{Δ}

имеем $\frac{d[n']}{d[\ln P_{\Pi}]} = 0$ и $n = n'$.

Тогда с учетом консистентных характеристик можно получить:

$$\dot{\gamma}_{\Pi} = \frac{3n+1}{4n} \frac{8 \cdot V_{cp}}{D}$$

Таким образом становится очевидным, что для псевдопластичных жидкостей $\dot{\gamma}_{\Pi} > \frac{8 \cdot V_{\bar{n}\delta}}{D}$, а для дилатантных $\dot{\gamma}_{\Pi} < \frac{8 \cdot V_{\bar{n}\delta}}{D}$.

Следует отметить, что консистентное уравнение значительно удобнее для инженерных расчетов, чем степенное реологическое уравнение, так как оно напрямую определяет зависимость между перепадом давления ΔP и расходом жидкой среды (средней скоростью) как функцию размеров трубы при известных консистентных характеристиках жидкости \hat{e}' и n' .

Экспериментальные исследования реодинамических характеристик картофельной мезги позволили количественно оценить указанные величины в области реальных гидродинамических параметров течения, которые составили соответственно значения:

$$n' = -0,05$$

$$\hat{e}' = 1560.$$