Исследования по определению основных гидродинамических параметров дилатантных и псевдопластических неньютоновских смесей

В.Г.Аванесян

В статье впервые рекомендованы расчетные формулы по определению секундного расхода, перепада давления и коэффициента гидродинамического сопротивления дилатантных и псевдо-пластичных неньютоновских жидкостей.

Изучены также степень возможности определения их расхода приборами, основанными на принуле перепада давления.

В связи с тем,что специфические особенности дилатантных и псевдопластичных неньютоновских жидкостей мало изучены(1-4 и др.) и до сих пор для них не рекомендованы расчетные формулы по определению их секундного расхода,перепада давления и коэффициента гидродинамического сопротивления ,возникла настоятельная необходимость провести специальные исследования по определению гидродинамических параметров указанных жидкостей

Кроме того,до сих пор не установлена также степень возможности применения расходомерных приборов, основанных на принципе перепада давления, для определения расхода указанных неньютоновских жидкостей. Этой статьей пытаемся решить указанные проблемы в этой области науки.

Сравнительно недавно реологические методы изучения указанных систем получили весьма широкое распространение при проведении физических и физико-химических исследований веществ, а также для решения разнообразных технологических задач в химическом машиностроении, в металлургии, горном деле, строительстве, на транспорте, в медицине и во многих других областях [1,2,3].

Сначала рассмотрим течение псевдопластичных и дилатантных неньютоновских сред. Они не имеют предела текучести. Реологическое уравнение этих сред имеет следующий вид:

$$\tau = \left(\frac{dv}{dr}\right)^n \qquad (1)$$

Где k и n являются постоянным для данной жидкости;

k – мера консистенции жидкости – чем выше вязкость, тем больше «k»;

n -характеризует степень неньютоновского поведения материала, и чем больше «n» отличается от еденицы, тем отчетливее проявляются его неньютоновские свойства.
Здесь важно иметь ввиду, что хотя во многих случаях значение «n» приблизительно постоянно в довольно широких пределах изменения скорости сдвига или скорости деформации, в реальной жидкости это но имеет место, если рассматривать весь диапазоннапряжений деформации сдвига

Отмеченное обстоятельство не создает серьезных помех в инженерных приложениях,поскольку используемое на практике реологическое уравнение описывает жидкость в органическом диапазоне скоростей сдвига или скоростей деформации,встречающемся в частных задачах.В этих пределах можно зачастую принимать значение n постоянным.

Необходимо отметить,что размерность величины k зависит от показателя степени, и это обстоятельство вызывает немало возражений при использовании степенного закона.

Экспериментально установлено,что для многих инженерных приложений эти возражения не имеют существенного значения.

Для псевдопластических сред $n < 1$, а для дилатантных,наоворот, $n > 1$. Поэтому с возрастанием скорости сдвига(или скорости деформаций) кажущаяся вязкость первых уменьшается, а вторых - увеличивается. Такое поведение псевдопластических материалов характерно для суспензий и эмульсионных смесей,содержащих ассиметричные частицы, и растворов полимеров,подобных производным целлюлозы.

Понижение кажущейся вязкости псевдопластичных эмульсий,суспензий и прочих растворов объясняется тем, что с возрастанием скорости деформации сдвига (или скорости деформаций) ассиметричные частицы или молекулы постепенно ориентируются. Вместо случайных хаотичных движений, некоторое молекулы совершают в покоящейся жидкости своими большими осями или ориентируются вдоль направления потока. И поэтому, кажущаяся вязкость указанных сред вследствии роста скорости сдвига(или скорости деформаций) убывает до тех пор,пока продолжается процесс ориентирования частиц линий потока, а затем кривая течения становится линейной.

Свойствами дилатантности сред впервые были обнаружены Рейнольдсом в суспензиях при большом содержании твердой фазы.

В таких жидкостях увеличение скорости сдвига приводит к структурообразованию,что является основной причиной нарастания кажущейся вязкости с повышением скорости деформаций.

Теперь выведем выражения для определения их основных параметров. Из (1) можно написать $dv = \left(\frac{\Delta P}{2LK}\right)^{\frac{1}{n'}} r^{\frac{1}{n}} dr$ (2),где

$$r = \frac{\Delta P r}{2L} \qquad (3)$$

Секундный элементарный расход:

$$dQ = \pi r^2 dv = \pi r^2 \left(\frac{\Delta P}{2LK}\right)^{\frac{1}{n'}\frac{1}{n^{dr}}} = \pi\left(\frac{\Delta P}{2LK}\right) r^{\frac{1}{n+2}} dr \,. \qquad (4)$$

Секундный расход определяется:

$$Q = \int_0^R \pi\left(\frac{\Delta P}{2LK}\right)^{\frac{1}{n}} r^{\frac{1}{n}+2} dr = \pi\left(\frac{\Delta P}{2LK}\right)^{\frac{1}{n}} \int_0^R \frac{dr^{\frac{1}{n}+3}}{3+\frac{1}{n}} = \pi\left(\frac{\Delta P}{2LK}\right)^{\frac{1}{n}} \frac{R^{\frac{1}{n}+3}}{3+\frac{1}{n}} \,. \qquad (5)$$

Таким образом , секундный расход псевдопластичных и дилатантных неньютоновских сред рекомендуется определять по формуле:

$$Q = \frac{\pi n R^3}{3n+1}\left(\frac{\Delta P R}{2LK}\right)^{\frac{1}{n}} \,. \qquad (6)$$

Для определения перепада давления ΔP указанных сред из (6) имеем

$$\left(\frac{\Delta P}{2LK}\right)^{\frac{1}{n}} = \frac{Q(3n+1)}{\pi n R^3} \,. \qquad (7)$$

Откуда

$$\Delta P^{\frac{1}{nR}} = \frac{Q(3n+1)(2KL)^{\frac{1}{n}}}{\pi n R^{\frac{1}{n}} R^3} \,. \qquad (8)$$

Правую и левую части равенства (8) возведем в степень «n»

Тогда

$$\left(\Delta P^{\frac{1}{n}}\right)^n = \left[\frac{Q(3n+1)(2LK)^{\frac{1}{n}}}{\pi n R^{\frac{1}{n}} R^3}\right]^n \,, \qquad (9)$$

Получим формулу для определения перепада давления следующего вида:

$$\Delta P = \frac{Q^n (3n+1)^n (2LK)}{\pi^n n^n R^{3n+1}} , \qquad (10)$$

Перепад давления ΔP выразим через среднюю скорость движения. Для этого вместо Q^n в выражении (10) подставим

$$Q^n = V^n (\pi R^2)^n , \qquad (11)$$

И получим

$$\Delta P = \frac{v^n (\pi R^2)^n (3n+1)^n 21.K}{(n \pi R^3)^n R} , \qquad (12)$$

Умножив числитель и знаменатель выражения (12) на $2v^2 \rho$ и выразив радиус **R** через диаметр трубопровода $\frac{D}{2}$, получим

$$\Delta P = \frac{V^n \left(\pi \frac{D^2}{4}\right)(3n+1)^n 2LK}{(n)^n \left(\frac{\pi D^3}{8}\right)^n R} \frac{2V^2 \rho}{2V^2 \rho} = \frac{V^n \left(\pi \frac{\pi^2}{4}\right)^n (3n+1)^n 8k}{n^2 \pi^2 \left(\frac{D^3}{8}\right)^n V^2 \rho} \rho \frac{V^2 L}{2D} = \lambda \rho \frac{V^2 L}{2D} , \qquad (13)$$

Откуда коэффициент гидравлического сопротивления λ для псевдопластичных и дилатантных неньютоновских жидкостей рекомендуется определять следующей формулой:

$$\lambda = \frac{V^n \left(\pi \frac{D^2}{4}\right)^n (3n+1)^n 8k}{n^2 \pi^2 \left(\frac{D^3}{8}\right)^n V^2 \rho} . \qquad (14)$$

Экспериментальная проверка показала, что эта формула обладает для практического применения достаточно высокой точностью. Так, максимальное расхождение между результатами, полученными по этой формуле, и экспериментальными данными составляет 34%, что практически вполне допустимо и формула обладает отмеченной точностью.

Из выражения (12) следует, что для псевдопластичных жидкостей, которые сильно отклоняются от ньютоновских, величина «n» близка к нулю и тогда ΔP ΔP оказывается обратно пропорциональным диаметру не в четвертой, а в первой степени. Следовательно,

для таких сред перепад давления менее чувствителен к изменению диаметра. Кроме этого величина прямо прпорциональна Q^n.

А если величина «п» близка к нулю, то оказывается мало чувствительным к расходу. Все это означает, что расходомерные устройства, основанные на измерении перепада давления. оказываются неудовлетворительными для псевдопластичных сред. И, аоборот, для дилатантных жидкостей, у которых n>1, перепад давления ΔP еще больше чувствителен к изменению расхода и диаметру трубопровода по сравнению с ньютоновскими жидкостями. Отсюда необходимо делать важный вывод о том, что при разработке расходомерных приборов неучет указанных замечаний приведет к существенным ошибкам при изменении перепада давления и расхода указанных неньютоновских сред, что недопустимо.

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Ребиндер П.А.Физико-химическая механика дис систем. Сборник под редакцией Академика Ребиндера П.А., М.:Недра,1976, 211с.
2. Дерягин Б.В., Ландоу Д.Л.О методах определения реологических параметров, в кн.: Г.И.Фукса «Вязкость и пластичность жидкостей», М.-Л.: Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы. 1971. с.107-112.
3. Аванесян В.Г. Изучение механичских особенностей неньютоновских смесей научно-механический сборник МВ и ССО Каз. ССР «Строительная механика» –Караганды. Издательство Карагандинского политехнического института, 1976, 1, с. 61-66.

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Առաջարկվում են նոր հաշվարկային բանաձևեր և պսեվդոպլաստիկ ոչ նյուտոնական էնուլսիոն խառնուրդներ հիդրոդինամիկ պարամետրեր որոշման համար, նույն թվում նաև շփման հետևանքով առաջացած ճնշման կորուստները և հիդրոդինամիկ դիմադրությունների գործակիցը: