

ОРАБОТКА ОПЫТНЫХ ДАННЫХ И РЕКОМЕНДАЦИЯ РАСЧЕТНЫХ
ФОРМУЛ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТОВ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ
ПРИ ПЛАВНОМ И РЕЗКОМ ПОВОРОТАХ НА 90° ПОТОКА
НЕНЬЮТОНОВСКИХ ЖИДКОСТЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ
ОБООЩЕННОГО ЧИСЛА РЕЙНОЛЬДСА И ОТ КРИТЕРИЯ
ПОДОБИЯ СЕН-ВЕНАНА-ИЛЬЮШИНА.

В.Г. Аванесян

В трубопроводе часто имеют место потери напора на поворотах, обусловленных изменением уклона местности или условиями работы сооружения. Поворот потока в трубах в большинстве случаев на практике осуществляется отводами (т.е. плавными поворотами, называемыми коленами с закруглением) и угольниками (резкими поворотами, часто называемыми коленами без закругления).

Наиболее часто приходится встречаться с поворотами струй на угол 90° , осуществляемыми с помощью угольников и отводов. Потери напора в этих местных сопротивлениях многими авторами изучены в основном для воды.

Для определения потерь напора в резких и плавных поворотах существует ряд формул, учитывающих конструктивные особенности колен и отводов (т.е. угол поворота, радиус закругления диаметра труб и т.д.), но все они не содержат факторов, характеризующих как саму жидкость, так и скорость движения в трубе.

Это обстоятельство ставило местные сопротивления вне зависимости от рода, физико-механических свойств и скорости перекачиваемой жидкости и вне связи с параметром Рейнольдса. Только в последние годы [1] некоторыми исследователями [2,3] установлен ряд зависимостей коэффициента местного сопротивления от параметра Рейнольдса для некоторых жидкостей.

Что же касается потерь напора в резком и плавном поворотах при движении через них неньютоновских эмульсий, то этот вопрос изучен недостаточно. Поэтому нами были проведены экспериментальные исследования потерь напора в местных сопротивлениях при резком (с диаметром колонны 50 и 62,5 мм) и плавном (с диаметром отвода 40 и 62,5 мм) повороте потока на угол 90° [4].

Результаты экспериментального исследования зависимости коэффициентов соответствующих местных сопротивлений при резком ($\zeta_{\text{ут. рез}}$) и плавном ($\zeta_{\text{ут. плав}}$) поворотах от обобщенного числа Рейнольдса Re . Из опытных данных следует, что до значений обобщенного числа Рейнольдса Re соответственно для резкого и плавного поворотов 500 и 800 наблюдается понижение коэффициентов ($\zeta_{\text{ут. рез}}$) и ($\zeta_{\text{ут. плав}}$) с прямолинейной зависимостью, затем (при $Re > 500$ и 800) некоторое незначительное повышение с последующим криволинейным понижением.

Нарушение прямолинейной зависимости между указанными коэффициентами и Re объясняется тем, что в области, где $Re > 500$ и 800 , соответствующим местным сопротивлением называются дополнительные потери энергии, обусловленные отрывом потока жидкости от стенок, следовательно, и вихреобразованием. Влияние Re на ($\zeta_{\text{ут. рез}}$) и ($\zeta_{\text{ут. плав}}$) прекращается соответственно при 10000 и 8000.

Математически обработав опытные данные, (способом наименьших квадратов) рекомендуем следующие эмпирические формулы для определения коэффициентов местных сопротивлений при резком и плавном поворотах потока на 90° [4]:

1. Резкий поворот:

а) в области при $120 < Re < 500$

$$\zeta_{\text{ур. пез}} = \frac{125}{(Re)^{0,57}}$$

б) при $500 < Re < 4000$

$$\lg(\zeta_{\text{ур. пез}}) = 0,012(\lg Re)^2 - 0,446(\lg Re) + 1,6874;$$

в) при $4000 < Re < 10000$

$$\lg(\zeta_{\text{ур. пез}}) = 0,012(\lg Re)^2 - 0,446(\lg Re) + 1,8504;$$

г) при $Re > 10000$ рекомендуется коэффициент $(\zeta_{\text{ур. пез}})$ считать равным 1,8.

II. Плавный поворот:

а) в области при $120 < Re < 800$

$$\zeta_{\text{ур. пез}} = \frac{880}{(Re)^{1,01}}$$

б) при $900 < Re < 17000$

$$\lg(\zeta_{\text{ур. паз}}) = -0,071(\lg Re)^2 - 0,435(\lg Re) - 0,7318; \quad (5)$$

в) при $1700 < Re < 8000$

$$\lg(\zeta_{\text{ур. паз}}) = -0,071(\lg Re)^2 - 0,3764(\lg Re) - 0,7318;$$

г) при $Re < 8000$ рекомендуется $\lg(\zeta_{\text{ур. паз}}) = 0,44$

Анализ данных показывает, что рекомендуемые эмпирические формулы (1) – (6) обладают достаточной точностью и могут быть применены для практических расчетов.

Нами была также рассмотрена возможность характеристики исследуемого явления каким-либо иным механическим критерием подобия, в качестве которого мы воспользовались Сен-Венан-Ильюшина, представляющим собой не что иное, как отношения критерия Re и b , т.е.

$$И = \frac{Re}{b} = \frac{V \cdot d \cdot \rho}{\eta} = \frac{\tau_0 \cdot d}{\eta \cdot V}$$

Комплекс параметра Ильюшина и представляет собой взаимоотношения сил пластичности и сил вязкости, оценивает степень пластичности жидкости и служит весьма характерным критерием подобия вязкопластичных систем. Как видно, критерий Сен-Венан-Ильюшина для данной конструкции местного сопротивления содержит все параметры, определяющие изучаемый процесс, кроме плотности жидкости. Естественно предположить, что при условии отсутствия реальной зависимости между плотностью и коэффициентом местных потерь энергии параметр Ильюшина может быть вполне правомерно использован для описания исследуемого явления.

На основании опытных данных построены зависимости коэффициентов $(\zeta_{\text{ур. р.п.}})$ и $(\zeta_{\text{ур. паз}})$ от критерия Ильюшина

$$U = \frac{\tau_0 \cdot d}{\eta \cdot V} \quad (8)$$

Анализ опытных данных показывает, что при резком повороте потока влияние критерия Ильюшина на коэффициент местного сопротивления проявляется при сравнительно меньших значениях I (т.е. при $U > 5-6$), чем при плавном повороте, влияние начинается при ($U > 9-10$). До указанных значений I параметр Ильюшина почти не влияет на коэффициент местного сопротивления ($\zeta_{\text{уг. р.п.}}$) и ($\zeta_{\text{уг. п.п.}}$), затем по мере дальнейшего постепенного увеличения его значения на указанные коэффициенты усиливается и между этими коэффициентами и указанным критерием возникает почти пропорциональная зависимость.

Таким образом, все снятые экспериментальные точки, изображенные в логарифмической форме, выявили определенную закономерность: в области высоких чисел Ильюшина они группируются вокруг зависимости $\zeta = f(U)$ убывающей с уменьшением I ; начиная же с некоторого критического значения $U_{\text{кр.}} \leq 8-11$, характер наблюдаемой зависимости резко нарушается, не обнаруживая более связи коэффициента ($\zeta_{\text{уг. р.п.}}$) и ($\zeta_{\text{уг. п.п.}}$) с критерием Ильюшина и тем самым свидетельствуя о наступившей автономности исследуемого процесса. Опытные данные, свидетельствуют о наличии двух зон изменения указанных коэффициентов местных сопротивлений от параметра Ильюшина.

При $U_{\text{кр.}} \leq 8-11$ коэффициенты ($\zeta_{\text{уг. р.п.}}$) и ($\zeta_{\text{уг. п.п.}}$) приобретают практически постоянные значения, определяемые лишь геометрическими характеристиками местного сопротивления.

Исходя из всего изложенного, делаем вывод, что критерий Ильюшина, как впрочем и обобщенное число Рейнольдса Re или I .

Однако сравнительная оценка характера зависимостей ($\zeta_{\text{уг. п.п.}} = f(R)$) и ($\zeta_{\text{уг. р.п.}} = f(I)$) несомненно свидетельствует в пользу последней зависимости, которая отвечает гораздо более простому и удобному для практического использования закону.

Из изложенного выше становится ясной целесообразность использования критерия подобия Сеп-Венан-Ильюшина для характеристики потерь энергии в местных сопротивлениях при течении немоторовских эмульсий.

Математически обработав опытные данные рекомендуем эмпирические формулы для определения коэффициентов ($\zeta_{\text{уг. р.п.}}$) и ($\zeta_{\text{уг. п.п.}}$) в зависимости от критерия Ильюшина:

а) для резкого поворота на угол 90°

$$\zeta_{\text{уг. р.п.}} = 0,53 \cdot I^{0,52}; \quad (9)$$

Выражение (9) рекомендуется применять при $I > 8$, а при $I < 8$ целесообразнее считать коэффициент ($\zeta_{\text{уг. р.п.}}$) равным 2;

б) для плавного поворота на угол 90°

$$\zeta_{\text{уг. р.п.}} = 0,0132 \cdot I^{1,475}; \quad (10)$$

(10) принимается при $I > 10-11$, а если $I > 10-11$, рекомендуется коэффициент $\zeta_{\text{уг. р.п.}}$ считать равным 0,50.

Анализ опытных данных показывает, что формулы (9) и (10) обладают достаточной точностью для проведения по ним практических расчетов.

Большой практический интерес представляло также установление зависимости между указанными коэффициентами ($\zeta_{\text{уг. р.п.}}$ и $\zeta_{\text{уг. п.п.}}$) и параметром

$$B = \frac{P \cdot V^2}{\tau_0}; \quad (11)$$

В отличие от критерия Ильюшина безразмерный комплекс B оказывает обратное влияние на коэффициенты $\zeta_{\text{уг. р.п.}}$ и $\zeta_{\text{уг. п.п.}}$, т.е. с его увеличением наблюдается постепенное уменьшение указанных коэффициентов, в то время как с увеличением критерия I , начиная с некоторого

критического его значения, коэффициенты местных сопротивлений увеличиваются. Такого резкого поворота при увеличении B от 20 до $5 \cdot 10^3$ коэффициент $\zeta_{\text{ут. р.п.}}$ уменьшается от 8,0 до т.е. более чем в 4 раза.

Для плавного же поворота при увеличении B от 20 до $2 \cdot 10^3$ коэффициент $\zeta_{\text{ут. п.п.}}$ уменьшается от 7,0 до 0,47, т.е. более чем в 14 раз. Следует отметить, что при плавном повороте коэффициент $\zeta_{\text{ут. п.п.}}$ уменьшается намного сильнее, чем при резком повороте.

Недостаток критерия B заключается в том, что он не учитывает влияния сил вязкости на размеры данного местного сопротивления.

При структурном режиме движения не учитывать влияние вязкости на потери энергии недопустимо.

Преимуществом параметра B является то, что он учитывает влияние плотности, в то время как критерий Ильюшина ее не учитывает. Следует отметить, что из-за малой вязкости некоторых жидкостей параметр B не оказывает особого влияния на потери энергии в местных сопротивлениях, поэтому на основании полученных экспериментальных данных (рис.5,6) можно без затруднений рекомендовать эмпирическую формулу в зависимости от указанного критерия для определения коэффициентов местных сопротивлений. Такую эмпирическую формулу функции $\xi = f(B)$ можно рекомендовать и для тех зон или областей сопротивления (для развитого турбулентного режима движения), где влияние вязкости на потери энергии незначительно.

Поскольку для резкого и плавного поворотов на 90° нами уже рекомендованы более удобные эмпирические выражения для определения $\zeta_{\text{ут. р.п.}}$ и $\zeta_{\text{ут. п.п.}}$, то в настоящее время пока нет смысла предлагать для одних и тех же местных сопротивлений другие дополнительные эмпирические формулы, точность которых не будет выше ранее рекомендованных.

На рис. 7 приведена зависимость коэффициента местного сопротивления $\zeta_{\text{ут. р.п.}}$ при резком повороте от обыкновенного числа Рейнольдса $Re > 1000$ получается сравнительно большой разброс точек. Поэтому для этой области рекомендовать с достаточной точностью эмпирическую формулу функции от Re определения коэффициента затруднительно. Но при числе Рейнольдса $Re < 1000$, т.е. при малых его значениях, где ясно представляется влияние структурно-механических свойств данной жидкости $|\tau_0|$ и η на указанный коэффициент $\zeta_{\text{ут. р.п.}}$, такую формулу можно рекомендовать, но в ней необходимо учитывать влияние τ_0 .

Литература

1. Авагесян В.Г. Экспериментальные исследования потери напора в местных сопротивлениях при движении эмульсионных нефтей по трубопроводам. Известия вузов СССР. "Нефть и газ", N 9, 1964, с. 83-87.
2. Альптуль А.Д. Местные гидравлические сопротивления. — М.: Гостоптехиздат, 1972.
3. Абулрашитов С.А. К вопросу о зависимости потерь на местные сопротивления при движении вязких жидкостей.
4. Авагесян В.Г. Исследование гидравлического сопротивления трубопроводов при движении различных жидкостей с разбавителями. — Промышленность Армении N 9, 1970, с.9-12.

Ամփոփում

Հորվածում ավազարկվում են նոր հաշվարկային բանաձևեր տեղական դիմադրությունների շարժվող հեղուկի հունի ուղղության կտրուկ և սատիճանաբար փոխվածության գործակիցների որոշման համար, նրա շարժվում են ոչ նյութական հեղուկները: