

НАПОРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ В ТРУБАХ КРУГЛОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ МАЛЫХ ЧИСЛАХ РЕЙНОЛЬДСА

Расчет величины потерь напора h_l на участке трубы круглого поперечного сечения диаметром D и длиной l при транспорте жидкостей со средней скоростью осуществляют по формуле Дарси-Вейсбаха

$$h_l = \lambda \frac{lV^2}{2gD} \quad (1)$$

Как известно, коэффициент гидравлического трения λ зависит от числа Рейнольдса и степени шероховатости стенок трубы. Однако до сих пор не установлен общий вид этой зависимости, не ясна природа гидравлических сопротивлений при напорном течении жидкостей в технических трубах. Требуется более детальное изучение характера опытных кривых $\lambda = f(Re, \delta/D)$ (здесь δ — средне-статистическое расчетное значение высоты выступов шероховатости).

Обратим внимание на некоторые опытные факты, которые либо уточняют существующие представления о характере опытных кривых, либо противоречат им.

В настоящее время принято считать, что для всех технических и тем более для гидравлически гладких труб в диапазоне чисел Рейнольдса до 2320 справедлив закон Гагена-Пуазейля:

$$\lambda = \frac{64}{Re}, \quad (2)$$

где $Re = \frac{VD\rho}{\mu}$ — число Рейнольдса; ρ и μ — плотность и динамический коэффициент вязкости жидкости.

В результате же опытных измерений потерь напора в свинцовых трубках диаметром 7 мм и длиной 250, 500, 750, 1500, 3000 м, произведенных еще в XIX веке О. Мейером, было обнаружено, что кривая сопротивлений $\lambda = f(Re)$ имеет монотонно ниспадающий характер при числах Рейнольдса от 300 до 5000, а значения коэффициента сопротивления оказались значительно выше расчетных (рис. 1). Лишь при стремлении чисел Рейнольдса к весьма малым значениям опытная и расчетная по формуле (2) кривые сближаются.

На основе анализа результатов опытных данных О. Мейер пред-

лагал применять для расчета потерь напора трехчленную формулу, в которой первый член (закон Гагена-Пуазейля) выражает долю сопротивления, пропорциональную скорости, второй — долю сопротивления, пропорциональную корню квадратному из скорости, третий — долю сопротивления, пропорциональную квадрату скорости.

Результаты опытов О. Мейера дают очень важные сведения о характере кривых сопротивлений для гидравлически гладких труб. Поэтому нами предпринята попытка воспроизвести и расширить результаты подобных опытов. Для этих целей были смонтированы два кольцевых участка труб, уложенных вдоль 250-метрового пе-

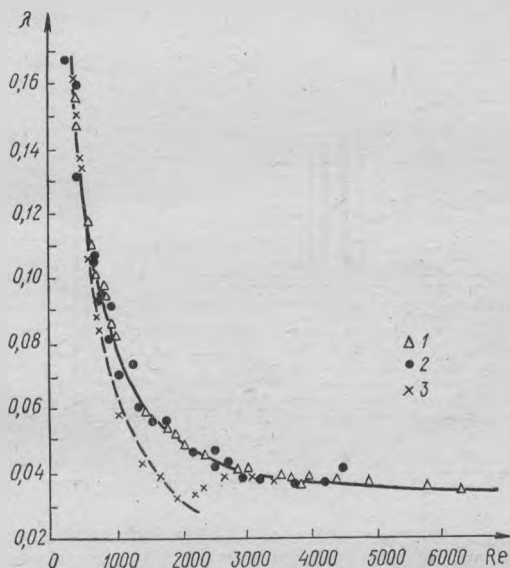


Рис. 1. Опытная зависимость $\lambda=f(\text{Re})$: 1—опыты автора в винипластовой трубе диаметром 18 мм; 2 — опыты О. Мейера [3] в свинцовой трубе диаметром 7 мм; 3 — опыты автора в стальной водогазопроводной трубе диаметром 15,7 мм. Пунктирная линия — кривая $\lambda=64/\text{Re}$

риметра здания. Первый участок длиной 417 м был устроен из поливинилхлоридной трубки внутренним диаметром 18 мм (изготовлен Белгород-Днестровским заводом медицинских изделий по техническим условиям ТУ 64-1-2813-75), второй — длиной 478 м из стальной водогазопроводной (газовой) трубы внутренним диаметром 15,7 мм (изготовлен по ГОСТу 3262-62).

Кольцевые участки труб питались водой из круглого бака диаметром 1,4 м и высотой 5,5 м (рис. 2), снабженного переливной

трубой для поддержания постоянного напора. Вода из трубок истекла под уровень воды в баке длиной 2,2 м и поперечным сечением $0,8 \times 0,8$ м. Трубку подводили в торец нижнего бака, в котором по ходу течения воды были устроены успокоительная камера с решеткой и треугольный водослив. Потери напора на расчетном участке трубы определяли по разности уровней воды в верхнем (питающем) и нижнем (приемном) баках. Расходы воды измеряли объемным способом.

При испытаниях предусматривались также уменьшение указанной выше длины кольцевых участков труб вдвое и измерение по-

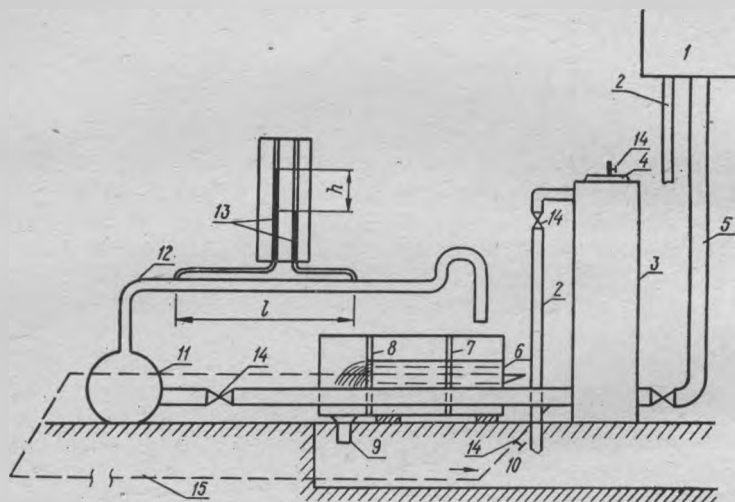


Рис. 2. Схема гидравлического стенда: 1 — бак насосной станции; 2 — переливная труба; 3 — водонапорный бак диаметром 1,4 м и высотой 5,5 м; 4 — люк; 5 — подающая труба; 6 — бак $0,7 \times 0,9 \times 2,2$ м; 7 — успокоительная сетка; 8 — треугольный водослив; 9 — слив; 10 — водоотводящий канал; 11 — расширитель диаметром 0,6 м и длиной 0,8 м; 12 — испытываемый участок трубы; 13 — пьезометры; 14 — вентили, задвижки; 15 — кольцевые участки трубы

терь напора по длине на прямом участке длиной 10 м с помощью двух пьезометров (рис. 2). Это давало возможность не только расширить пределы измерения, но и оценить величину местных сопротивлений на кольцевых участках труб.

Кольцевой участок из поливинилхлоридной трубки имел следующие местные сопротивления: вход, выход, вентиль и плавные повороты радиусом не менее 1,5 м. Измерение потерь напора при равных значениях чисел Рейнольдса на кольцевом и прямом участке поливинилхлоридной трубки показало, что величина местных по-

терь по сравнению с величиной потерь по длине незначительна и ею можно пренебречь. Кольцевой же участок из стальной трубы имел следующие местные сопротивления: выход, вход, вентиль и один поворот под 90° на каждые 30 м длины. В этом случае местные потери напора оказались значительными. Суммарный коэффициент местных потерь $\Sigma\zeta$ был определен путем измерения при одной и той же скорости суммарных потерь напора Σh в кольцевом

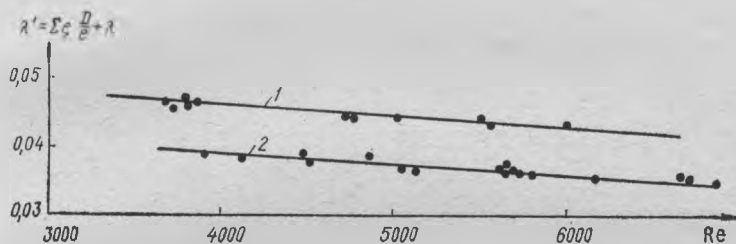


Рис. 3. Гидравлические сопротивления в стальной водогазопроводной трубе диаметром 15,7 мм: 1 — кольцевой участок длиной 241 м (1 поворот под 90° на 30 м длины); 2 — прямой участок длиной 10 м (без местных сопротивлений)

участке и потерь напора по длине на прямом участке трубы (без местных потерь) h_l и использования формулы

$$\Sigma h = \lambda' \frac{lV^2}{D2q}, \quad (3)$$

где $\lambda' = \Sigma\zeta \frac{D}{l} + \lambda$; $\lambda = \frac{h_l D 2q}{lV^2}$.

Измерения показали (рис. 3), что в кольцевом участке стальной трубы $\Sigma\zeta = 1,075$.

При гидравлических испытаниях труб в отдельных случаях для расширения пределов измерения питание водой осуществлялось из бака насосной станции 1 (рис. 2) при герметическом закрытии люка 4 в напорном баке 3. В этом случае напор в начальной точке трубы достигал 10—12 м.

Результаты опытных измерений величин коэффициентов гидравлического трения по длине в поливинилхлоридной, а также в стальной водогазопроводной трубе представлены на рис. 1 и 3. Анализ результатов опытных измерений полностью подтвердил выводы, сделанные ранее при анализе результатов исследований О. Мейера. Действительно, кривая гидравлических сопротивлений $\lambda = f(Re)$ для гидравлически гладкой трубы имеет монотонно ниспадающий характер и при числах Рейнольдса менее 200—300 близ-

ко подходит к кривой Гагена-Пуазейля ($\lambda=64/Re$). При числах Рейнольдса свыше 500 опытные значения коэффициентов гидравлического трения превышают расчетные по формуле (2).

Иная картина наблюдается при движении воды в стальной водогазопроводной трубе. При числах Рейнольдса до 2000 в этом случае кривая сопротивлений совпадает с кривой Гагена-Пуазейля, а коэффициент гидравлического трения λ снижается до 0,031. Далее кривая $\lambda=f(Re)$ имеет плавный подъем до значения $\lambda=0,039$ при $Re=4000$, а затем плавно снижается до значений $\lambda=0,035$ при $Re=7000$ (рис. 3).

В. Н. ЯРОМСКИЙ, П. П. СТРОКАЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПОЛИАКРИЛАМИДА НА КОРРОЗИЮ СТАЛИ

Защита от коррозии стали является большой народнохозяйственной задачей.

В настоящее время существует множество методов защиты металлов от коррозии, основанных на применении защитных покрытий (на органической и неорганической основе, металлические покрытия), на применении конструктивных металлических материалов повышенной коррозионной стойкости, обработке коррозионной среды, понижающей ее коррозионную активность, электрохимической защите и т. д. Однако ни один из разработанных методов не является универсальным. Это приводит к значительным ежегодным потерям металла, выходу из строя ценнейших приборов и аппаратуры и нарушению технологических процессов. Кроме того, выделяемые продукты коррозии резко ухудшают качество питьевой и технической воды.

В поисках более эффективного способа решения важной проблемы нами исследовано влияние магнитной обработки водных растворов полиакриламида на коррозию стали. Для опытов использована водопроводная вода (табл. 1).

Водопроводную воду с содержанием 0,08%-ного раствора полиакриламида (ПАА) пропускали через электромагнитное поле. Аналогичные исследования проводили без обработки в электромагнитном поле. Все элементы лабораторной установки (рис. 1), соприкасающиеся с водой, выполнены из пластмассы. Скорость движения жидкости в замкнутой системе составляла 0,269 м/с. Темпе-