

УДК 65.33

Влияние закругления трубы на движение неньютоновской жидкости

Д-р техн. наук **В. А. АРЕТ, А. С. ЩЕРБАКОВ, А. В. КУЗНЕЦОВ**
valdurtera@rambler.ru

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет ИТМО
Институт холода и биотехнологий
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9*

Многие проблемы учета сопротивлений при расчете трубопроводного транспорта для неньютоновских жидкостей являются актуальными научными задачами. Например, представляет интерес изучение влияния местного сопротивления в виде плавного закругления трубы при движении степенной жидкости.

Ключевые слова: реология, тесто, капиллярный вискозиметр, местные сопротивления.

Effect of curvature on the tube movement of non-Newtonian fluid

V. A. ARET, A. S. SCHERBAKOV, A. V. KUZNETSOV

*National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics
Institute of Refrigeration and Biotechnologies
191002, St. Petersburg, Lomonosov str., 9*

Many of the problems of accounting in calculating the resistance of pipeline transport for non-Newtonian fluids are up to date scientific tasks. For example, it is interesting to study the influence of local resistance in the form of a smooth rounded tube when driving power of the liquid.

Keywords: rheology, dough, capillary viscometer, local resistance.

В настоящее время определению потерь давления на изгибе труб посвящен ряд научных работ [1–6], однако определение потерь давления на этих местных сопротивлениях для неньютоновских жидкостей изучены недостаточно.

Данная статья посвящена экспериментальному изучению влияния местного сопротивления, представленного в виде изгиба трубы при ламинарном движении неньютоновской жидкости. Экспериментальные исследования проведены на установке, представленной на рис. 1, позволяющей определить потери давления при движении жидкости.

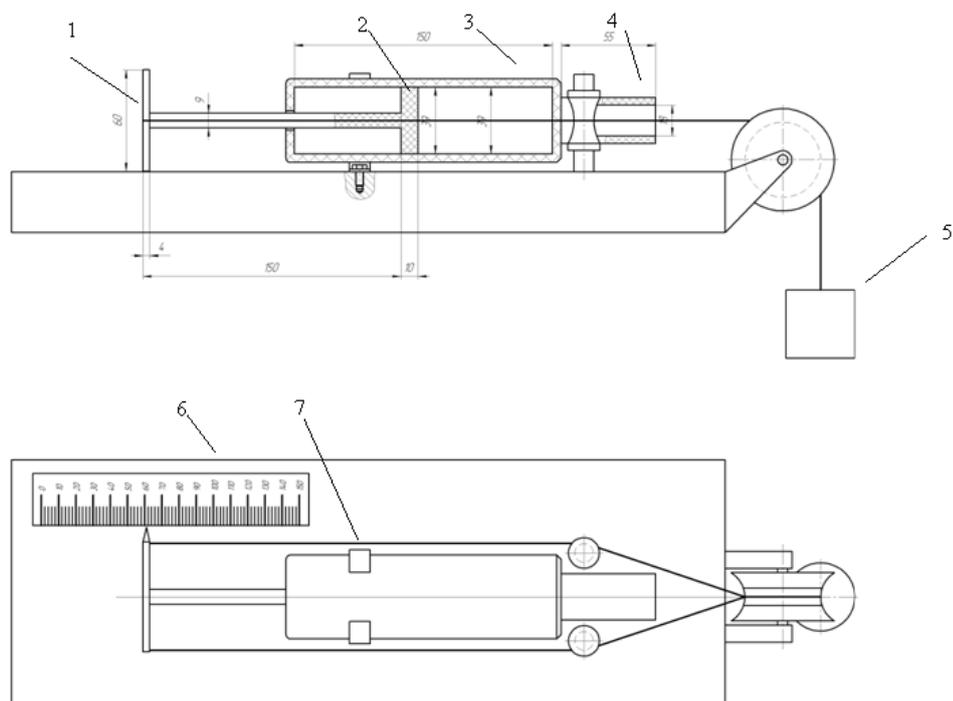


Рис. 1. Схема установки для определения потерь давления при движении неньютоновской жидкости

Установка имеет следующие конструктивные особенности. В рабочем цилиндре 3 диаметром 39 мм и длиной 150 мм находится поршень 1 того же диаметра. Шток поршня 2, соответственно, имеет длину 150 мм и диаметр 39 мм. Объем цилиндра 150 мл. С одной стороны в цилиндре имеется отверстие для трубки 4, которая герметично запаена с цилиндром. Количество заменяемых цилиндров на стенде равно двум, с выходящими трубками одинакового диаметра $d = 2$ мм и длины $L = 200$ мм. Отличительной особенностью второй трубки является ее плавное закругление с углом поворота $R = 50$ мм. Данный отвод имеет круглое сечение с углом поворота $\delta = 90^\circ$.

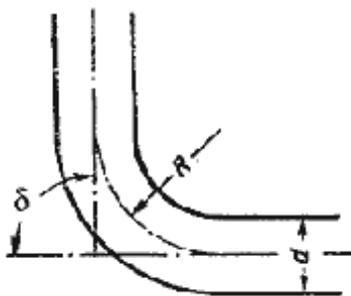


Рис. 2. Отвод круглого сечения с углом поворота $\delta = 90^\circ$.

Длину хода поршня можно контролировать с помощью линейки 6, а изменение объема продукта в цилиндре - по нанесенной шкале на корпусе цилиндра. Цилиндр закреплен с помощью специального крепления 7. Ход поршня обеспечивается за счет приложенного на него давления P , которое вызвано весом установленного груза.

В качестве материала, подчиняющегося закону движения неньютоновских жидкостей, использовали бездрожжевое тесто из пшеничной муки.

В первой серии опытов моделировалось движение жидкости в цилиндре, имеющем на выходе прямой капилляр, во второй – в цилиндре, имеющем на выходе капилляр с радиусом поворота $R = 50$ мм. Грузы с учетом груза $m = 0,25$ кг, компенсирующего силу сухого трения, использовали в диапазоне от 3-х кг до 6-ти кг. С целью определения закона зависимости объемного расхода от давления, по полученным экспериментальным данным в программе CurveExpert был построен график распределения объемного расхода Q от ΔP .

График зависимости объемного расхода от давления для прямого капилляра представлен на рис. 3.

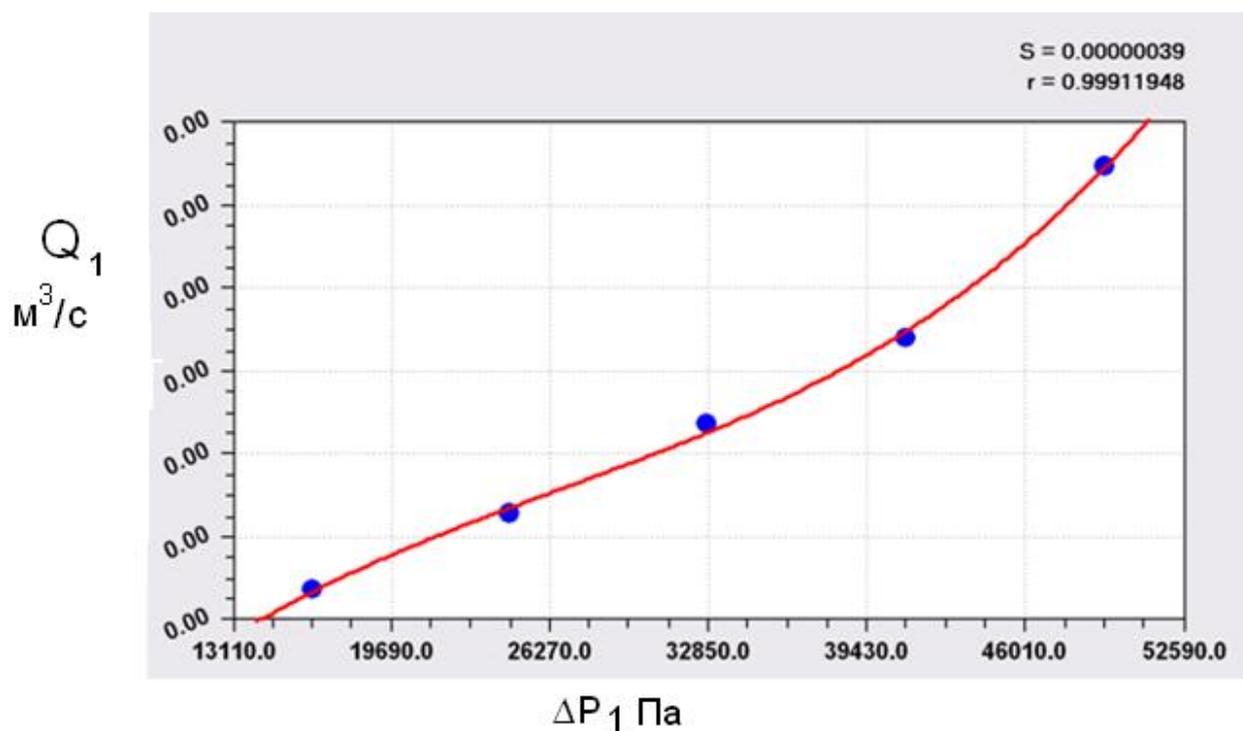


Рис. 3. График зависимости объемного расхода от давления для прямого капилляра

Наилучшую по минимуму среднеквадратичного отклонения S_i максимума коэффициента корреляции r дает эмпирическая формула в виде полинома третьей степени:

$$Q_1 = -8,59 \cdot 10^{-6} + 8,9 \cdot 10^{-10} \cdot \Delta p - 2,4 \cdot 10^{-14} \cdot \Delta p^2 + 2,99 \cdot 10^{-19} \cdot \Delta p^3 \quad (1)$$

Поскольку тесто было отнесено к средам Оствальда–Де Виля, то с помощью программы Mathcad выразим зависимость (1) через закон для степенной жидкости

$$Q = \frac{n\pi R^3}{3n+1} (R\Delta p/2Lk)^{\frac{1}{n}}, \quad (2)$$

где R - радиус капилляра;

L – длина капилляра;

k - коэффициент консистенции;

n - индекс течения.

Зависимость объемного расхода от давления для прямого капилляра диаметром $d=12$ мм и длиной $L=200$ мм (рис. 4) примет вид:

$$Q_1 = \frac{0,48\pi 0,006^3}{3 \cdot 0,48 + 1} (0,006 \cdot \Delta p_1 / 2 \cdot 0,2 \cdot 80,4)^{\frac{1}{0,48}} \quad (3)$$

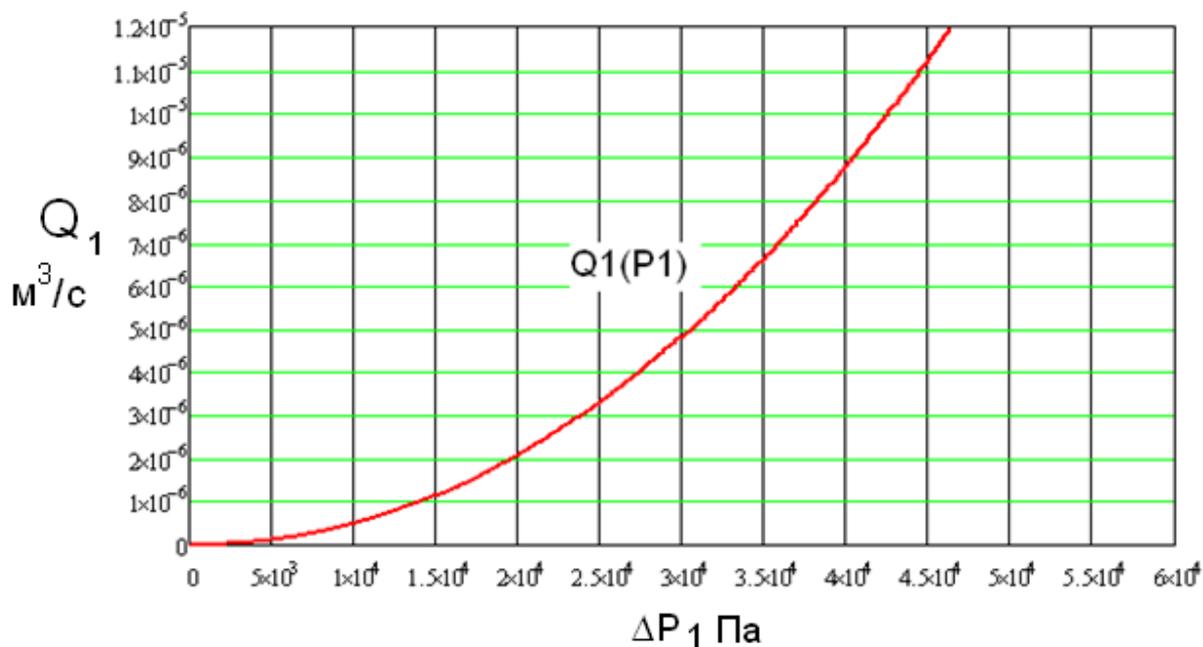


Рис. 4. График зависимости объемного расхода от давления для прямого капилляра диаметром $d=12$ мм и длиной $L=200$ мм, построенный в программе Mathcad

График зависимости объемного расхода от давления для капилляра с радиусом поворота $R=50\text{мм}$ представлен на рис. 5.

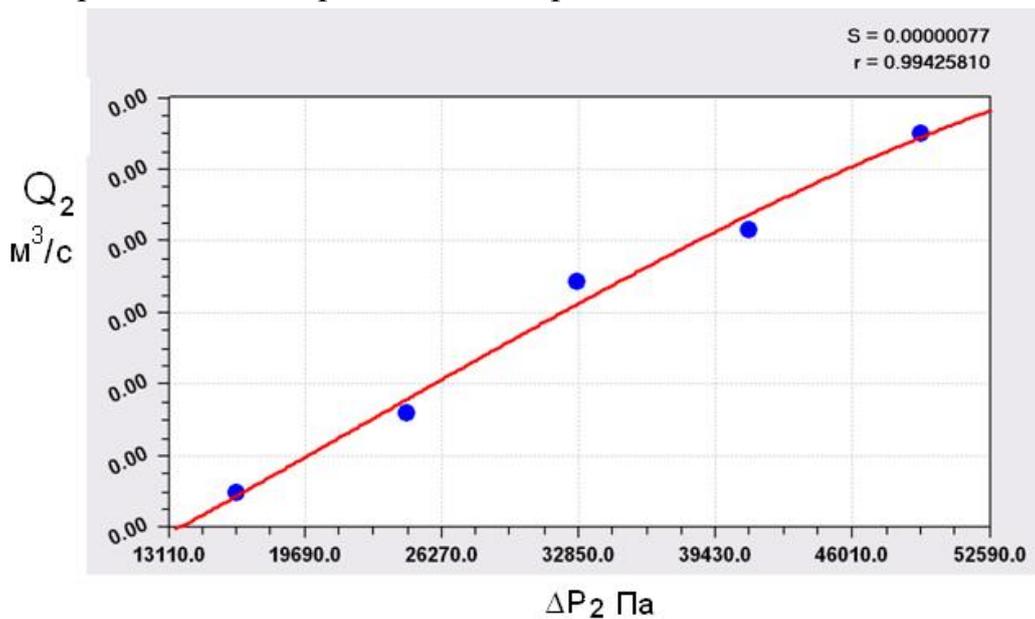


Рис. 5. График зависимости объемного расхода от давления для капилляра с радиусом поворота $R=50\text{мм}$

Наиболее точно данную функцию описывает полином третьей степени

$$Q_2 = -3,6 \cdot 10^{-6} + 2,4 \cdot 10^{-10} \cdot \Delta p + 2,5 \cdot 10^{-15} \Delta p^2 - 3,8 \cdot 10^{-20} \cdot \Delta p^3 \quad (4)$$

Зависимость объемного расхода от давления для капилляра с радиусом поворота $R=50\text{мм}$, диаметром $d=12\text{ мм}$ и длиной $L=200\text{ мм}$ примет вид

$$Q_2 = \frac{0,56\pi 0,006^3}{3 \cdot 0,56 + 1} (0,006 \cdot \Delta p_2 / 2 \cdot 0,2 \cdot 66,9)^{\frac{1}{0,56}}$$

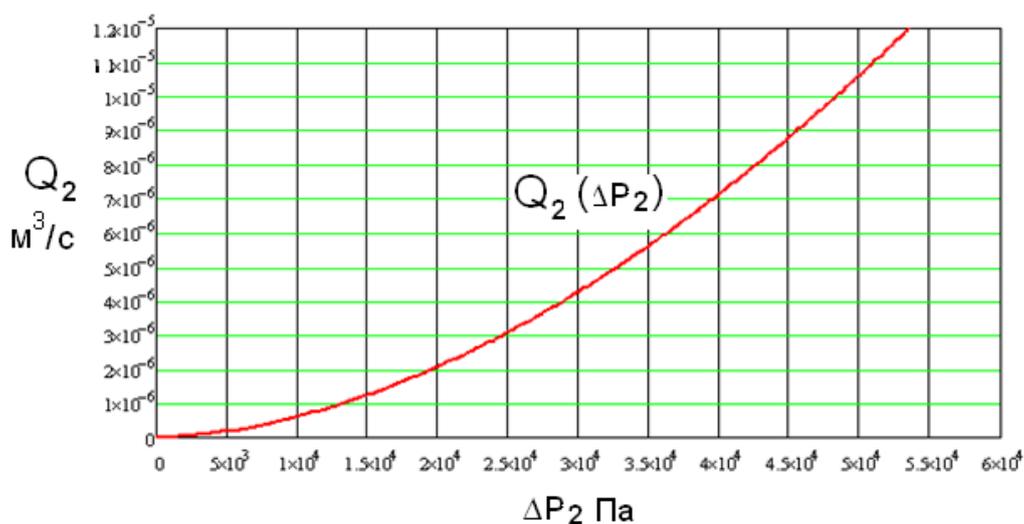


Рис. 6. График зависимости объемного расхода от давления для капилляра радиусом поворота $R=50\text{ мм}$, диаметром $d=12\text{ мм}$ и длиной $L=200\text{ мм}$, построенный в программе Mathcad

Для сравнения влияния изгиба трубки с радиусом поворота $R=50$ мм построим графики функций для прямого и кривого капилляра в единой системе координат. Для этого в программе Mathcad введем функцию

$$Q_1 = \frac{0,48\pi 0,006^3}{3 \cdot 0,48 + 1} (0,006 \cdot \Delta p_1 / 2 \cdot 0,2 \cdot 80,4)^{\frac{1}{0,48}}$$

и

$$Q_2 = \frac{0,56\pi 0,006^3}{3 \cdot 0,56 + 1} (0,006 \cdot \Delta p_2 / 2 \cdot 0,2 \cdot 66,9)^{\frac{1}{0,56}}$$

Получим

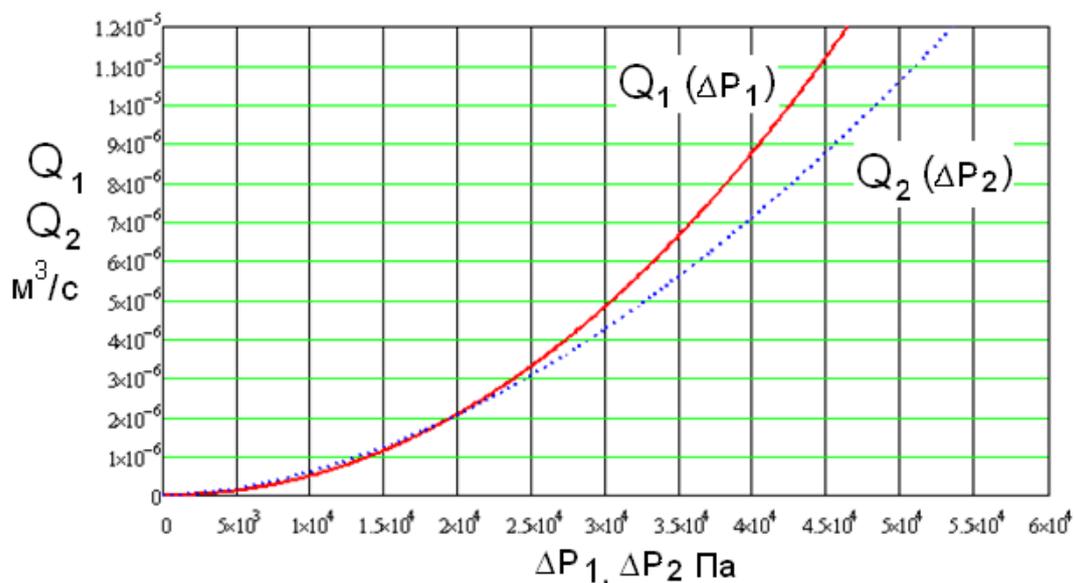


Рис. 7. График зависимости объемных расходов Q_1 и Q_2 от давлений $P_1, Па$ и $P_2, Па$ для прямого капилляра и кривого капилляра с радиусом поворота $R=50$ мм, построенный в программе Mathcad

Результаты исследования показывают, что при сравнительно низких скоростях течения влияние местного сопротивления, образованного плавным изгибом капилляра не является существенным. Тогда как с увеличением объемного расхода ($Q > 3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$) роль изгиба капилляра возрастает (рис. 7).

Список литературы

1. Щербаков А. С. Вискозиметрия пшеничного теста. -СПб.: Научный журнал СПбГУНиПТ. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств, 2012, вып. 1. С.36-40.

2. *Арет В. А.* и др. Реологические основы расчета оборудования производства жиросодержащих пищевых продуктов / В. А. Арет, Б. Л. Николаев, Л. К. Николаев. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2009. – 537с.
3. *Рейнер М.* Деформация и течение. – М.: Гос. науч.-техн. изд-во нефт. и горно-топлив. пром-сти, 1963. – С. 381.
4. *Снежко В.Л., Паливец М.С.* К вопросу определения гидравлических сопротивлений тройников. Естественные и технические науки, 2010 – С.592-599.
5. *Идельчик И.Е.* Некоторые замечания по поводу гидравлических потерь, возникающих при движении реальной жидкости (газа) в напорных системах/ И.Е. Идельчик//Известия вузов. Энергетика. -1975. -№9. –С.99 - 104.
6. *Gardel, A.* Les pertes de charge dans les branchements en Te des conduits de section circulaire/ A/ Gargel// Bulletin technique de la Suisse romande.- 1970. N. 25. - P. 363 – 391.