

УДК 664

Влияние изгиба трубы на движение неньютоновской жидкости

Арет В.А., дтн., valdurtera@rambler.ru , Байченко А.А. магистр, Externalize@yandex.ru , Байченко Л.А., ктн., larabaychenko@yandex.ru, Зеленков В. К. , аспирант mamont.service@mail.ru Щербаков А.С., ктн., alex.scherBa@mail.ru ,

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики.

Институт холода и биотехнологий

Аннотация. Течение среды Оствальда-Де Вилля в изгибе трубы под прямым углом исследовал А.С.Щербаков, который обнаружил изменение в расходно-напорной характеристике, вызванный этим изгибом. В статье поставлена задача определения реакции трубы на текущую в ней среду в установившемся режиме.

Ключевые слова. Степенная жидкость, течение, реакция трубы.

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

Aret V.A., valdurtera@rambler.ru , Baitchenko A.A., Externalize@yandex.ru , Baitchenko L.A larabaychenko@yandex.ru , Zelekov V.K. mamont.service@mail.ru , Scherbakov A.S., alex.scherBa@mail.ru

National Research University of Information technology, optics and mechanics.

Annotation. The flow of the liquid of the Ostwald De Waele in the tube curvature at a right angle was researched by Scherbakov A.S. He found a change, caused by this bending in the flow-pressure characteristic. The article poses the problem of the determining the reaction of the tube in the current liquid in it in the steady state.

Keywords. Degrees fluid, flow, the reaction of the tube.

Кандидат технических наук Щербаков А.С. [1] исследовал на капиллярном вискозиметре своей конструкции [2] (Рисунок 1) течение модельной тестовой среды, состоящей из пшеничной муки и воды в пропорциях 4:1. Параллельно он проводил реометрические исследования на немецком ротационном вискозиметре Rheotest-Medingen GmbH Rn4.1 [3] и оказал, что модельная среда может быть описана реологическим уравнением Оствальда-Де Виля (степенной неньютоновской жидкости) и использована для моделирования многих реодинамических процессов с большинством тестообразными пищевыми средами [4, 5, 6,7] .

С целью определения влияния дополнительного местного сопротивления на длине капилляра в лаборатории кафедры Техники мясных и молочных производств Национального исследовательского университета информационных технологий , механики и оптики, Института холода и биотехнологий была проведена соответствующая серия опытов. Для приготовления модельного теста использовали пшеничную муку высшего сорта ТМ «Предпортовая» и питьевую воду. 210г пшеничной муки высшего сорта тщательно смешивали в колбе до исчезновения комочков с 250 мл питьевой воды. Температура воды 20°C. Для разрушения скопления частичек муки перемешивание осуществляется в течение 10 мин. Температура теста 20-22°C. Для достоверности полученных данных на протяжении проведения серии опытов модельное тесто находилось в герметично закрытом сосуде. Это позволило исключить его обезвоживание, и тем самым сохранить первичные реологические показатели. Тесто, пропущенное через капилляр во время проведения опыта, повторно не использовалось, что позволило исключить изменение первостепенной структуры приготовленного теста. Для исключения влияния силы сухого трения поршня о стенки цилиндра без продукта, устанавливали груз, эквивалентный возникающей силе сухого трения. Масса груза равна 0,25 кг.

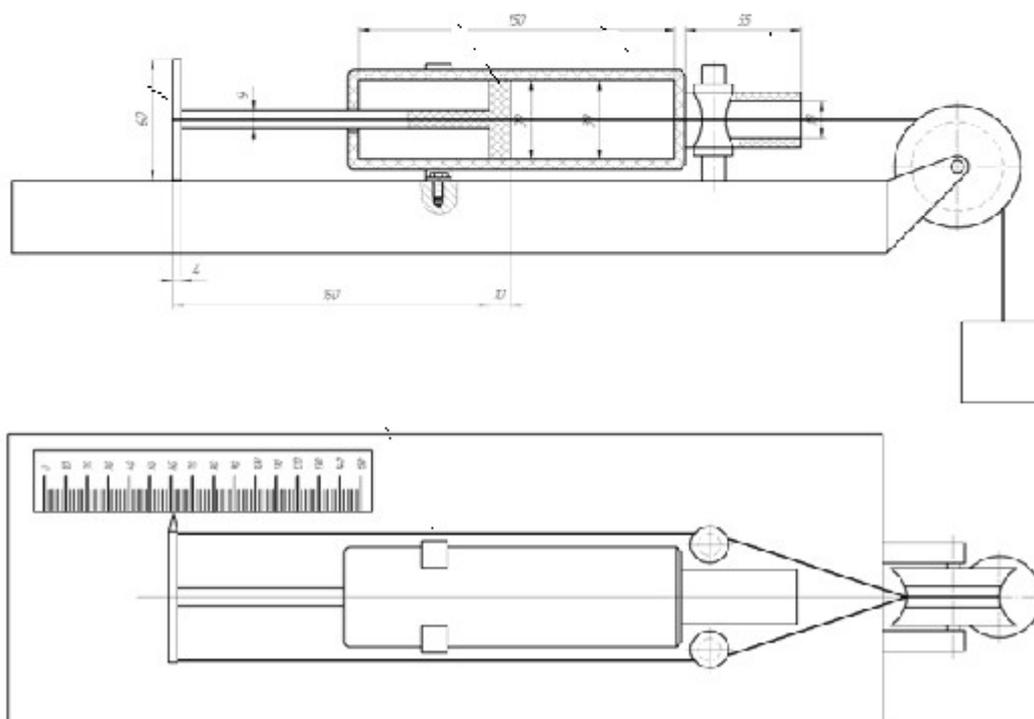
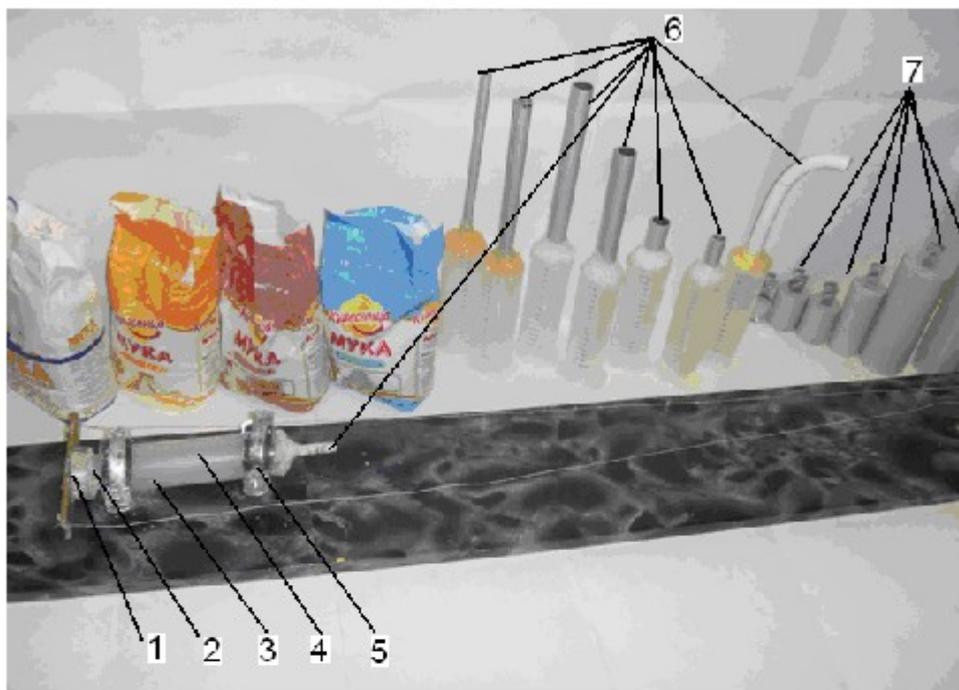


Рисунок 1. Фотография и схема экспериментальной установки А.С.Щербакова: 1-поршень; 2-шток поршня; 3-цилиндр; 4-линейка; 5-крепление цилиндра; 6-капилляры различной конфигурации; 7-грузы.

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. Цилиндр и поршень являются стандартными

изделиями, а именно медицинскими шприцами объемом 150 мл. Визуальный контроль перемещения поршня возможен благодаря тому, что цилиндр является прозрачным. С одной стороны в цилиндре имеется отверстие для трубки 6, которая герметично запаена с цилиндром с помощью термокля. Длина, диаметр, радиус поворота трубки изменялись в зависимости от задачи эксперимента. Достигалось это путем смены цилиндров с уже герметично запаянными капиллярами различной конфигурации. Длины герметично запаянных трубок изменялись от 50 до 200 мм. Внутренний диаметр трубки имел значения 8, 10 и 12 мм. Радиус поворота трубки имел значение $R=0$ мм и $R=50$ мм.

Ход поршня можно контролировать с помощью линейки 6 (видеосъемкой), а изменение объема продукта в цилиндре - по нанесенной заводом изготовителем шкале на корпусе цилиндра. Цилиндр неподвижно закреплен с помощью специального крепления 5. Перемещение поршня достигается с помощью давления, оказанного лабораторными грузами 7, подвешенными через трос к верхней части поршня. Лабораторные грузы имеют различный вес от 0,250 кг до 16 кг. Установка позволяет использовать грузы в различной комбинации, что дает возможность создать требуемое давление во время проведения экспериментов. Кроме того, для оценки процесса стабилизации реологических свойств опытного теста были проведены исследования на фаринографе немецкой фирмы Brabender по штатной методике прибора.

По полученным экспериментальным данным определяли давление, оказываемое на поршень (p), объемный расход тестовой массы (Q), напряжение сдвига (τ), скорость сдвига ($\dot{\gamma}$), линейные потери давления на расчетной длине капилляра за вычетом потерь на входе и выходе (Δp). Опыты с капиллярами одинакового диаметра и различной длины позволяли выделять из общих потерь давления местные потери давления на входе и выходе из капилляра и проводить расчеты с учетом только линейных потерь давления на расчетной длине капилляра :

$$Q(\Delta p) = \frac{\pi n R^3}{3n + 1} \left(\frac{R \Delta p}{2Lk} \right)^{\frac{1}{n}} = a \Delta p^b \quad (1)$$

где R - радиус капилляра,

L - расчетная длина капилляра (разность между длинами капилляров одного диаметра);

n, k - индекс течения и коэффициент консистенции модельного теста;

a, b - эмпирические коэффициенты .

Реологическое уравнение среды имеет вид :

$$\tau = k \dot{\gamma}^n \quad (2)$$

Часть приготовленного теста, объемом 150 мл, помещали в цилиндр, расположенный горизонтально. Затем, вставляли поршень, на который оказывалось давление, соответствующее весу грузов. Параллельно проводили видеосъемку опыта, и замеряли время движения поршня в цилиндре.

Определяющим в первой серии опытов являлся диаметр трубки, установленной на выходе из цилиндра, который был равен 12 мм. Исследования проводили с двумя одинаковыми цилиндрами с встроенными в них капиллярами длиной $L=200$ мм и диаметром $d=12$ мм. Основным отличием капилляра, используемого во второй серии опытов от капилляра, используемого в первой серии опытов, являлось дополнительное местное сопротивление, представляющее собой изгиб капилляра на $\delta=90^\circ$ с радиусом поворота $R=50$ мм.

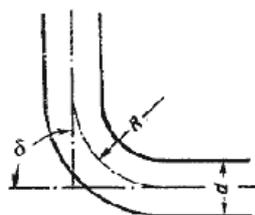


Рис.2 Схема изгиба трубы .

$$\delta = 90^0; R = 50 \text{ мм}; d = 12 \text{ мм}$$

Экспериментальные данные приведены в таблице 1, графически эти данные образуют 2 кривые (рис.2)

Таблица 1 .

№№ ОПЫТОВ	$P \cdot 10^{-4}, \text{ Па}$	$Q_1 \cdot 10^6, \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_2 \cdot 10^6, \text{ м}^3/\text{с}$
1	0	0	0
2	1,5	1	1
3	2,5	2	3,3
4	3,0	4,3	4,9
5	3,5	5,7	6,8
6	4,0	7,1	8,9
7	4,5	8,8	11,2

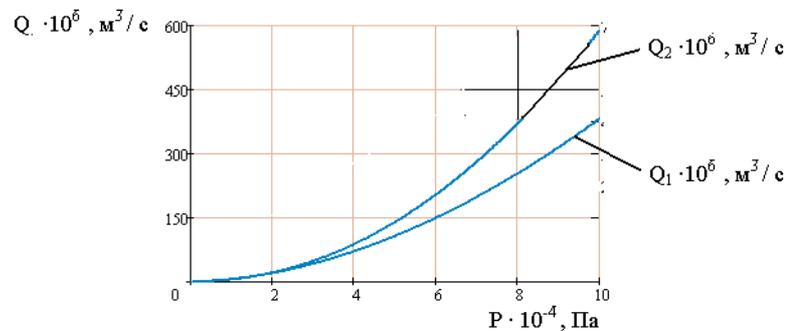


Рис. 3. Влияние изгиба трубы на расходно-напорную характеристику при течении модельного теста

Графики показывают, что после определенного перепада давлений расходно-напорные характеристики расходятся. На рис.3 показана разница в величине расходов, рассчитанная по формуле (3).

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2 \quad (3)$$

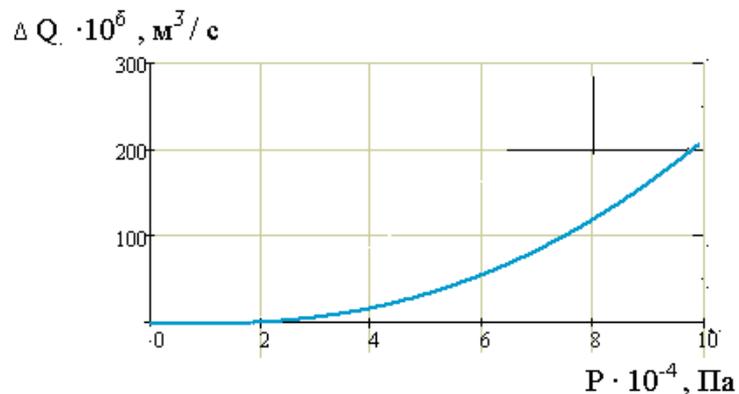


Рис.4. Влияние изгиба трубы на расходно-напорную характеристику

С целью определения влияния изгиба на реакцию трубы можно использовать теорему Эйлера [8] :

$$\frac{d\vec{K}}{dt} = \vec{R}_1 + \vec{R}_2 \quad (4)$$

Пусть труб будет горизонтальная, тогда проекции главного вектора внешних объемных сил \vec{R}_1 на горизонтальные оси x и y равны нулю, а угол поворота трубы равен α . (Рис.5).

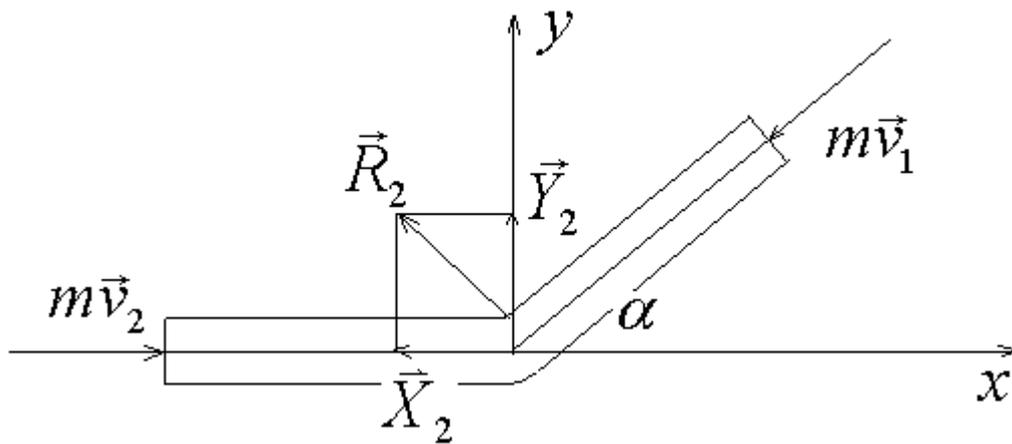


Рис.5. Расчетная схема использования теоремы Эйлера для определения реакций трубы на поток модельной среды

Тогда теорему Эйлера в проекциях можно записать в виде системы уравнений (5):

$$\begin{aligned} - m v_1 \cos \alpha + m v_2 - X_2 &= 0; \\ - m v_1 \sin \alpha + Y_2 &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

где m - секундная масса,

v_1, v_2 - средние скорости течения через сечения трубы.

$$m = \rho_1 v_1 F_1 = \rho_2 v_2 F_2, \quad (6)$$

где ρ_1, ρ_2 - плотности среды, соответственно, в сечениях трубы площадью F_1, F_2 .

Эта простая задача (4,5, 6) усложняется лишь тем, что при расчете средней скорости нужно учитывать неньютоновские свойства среды и использовать формулы (1, 3):

$$v_1 = v_2 = \frac{4Q}{\pi D^2}, \quad (7)$$

где D - диаметр трубы.

Алгоритм расчета внешних сил в формате Mathcad :

$$\begin{aligned} \rho &:= 980 & \alpha &:= \frac{\pi}{6} & Q &:= 350 \cdot 10^{-6} & d &:= 0.012 \\ v &:= \frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot d^2} & \cos(\alpha) &= 0.866 & \sin(\alpha) &= 0.5 \\ v &= 3.095 & X &:= \rho \cdot \frac{\pi \cdot d^2 \cdot v^2 \cdot (1 - \cos(\alpha))}{4} & Y &:= \rho \cdot \frac{\pi \cdot d^2 \cdot v^2 \cdot \sin(\alpha)}{4} \\ R2 &:= \sqrt{X^2 + Y^2} & Y &= 0.531 & X &= 0.142 \\ R2 &= 0.549 \end{aligned}$$

На основе изложенного, можно заключить, что при малых средних скоростях течения ($v \leq 8.8 \cdot 10^{-3}$ м/с) высоковязкой степенной модельной среды поворот трубы на 90 градусов практически не влиял на сопротивление течению. Количественный анализ внешних поверхностных сил можно производить на основе теоремы Эйлера и приведенного алгоритма расчета в формате Mathcad.

Литература.

1.Щербаков А. С. Совершенствование межоперационного транспортирования и интенсификация процесса формования изделий из мучного разнотросткового теста. Дис. ... канд. техн. наук / НИУ ИТМО, ИХиБТ. – Санкт-Петербург., 2013. – 157 с.

2.Заявка в ФИПС № 2013129808 с приоритетом от 28.06.2013 на патент.

3. Арет В.А., Байченко А., Байченко Л.А., Головинская О.В., Кузнецов А.В., Щербаков А.С. Сравнение реологических характеристик пшенично-кукурузной тестовой массы, исследуемой на ротационном и капиллярном вискозиметре. Новые технологии [Электронный ресурс]: – Реферируемый научный журнал; Майкоп, 2013. – Вып.№2

4. Арет В.А. и др. Физико-механические свойства сырья и готовой продукции / В. А. Арет, Б. Л. Николаев, Л. К. Николаев. – СПб.: ГИОРД, 2009. - 537 с.

5. Арет В.А. Имитационная и инвариантная реометрия в процессах переработки пищевых масс. Автореф. дисс. ...д-ра технических наук: М., 1982. – 39 с.

6. Щербаков А.С. Вискозиметрия пшеничного теста. / Щербаков А.С. // Научный журнал СПбГУНиПТ. Серия: «Процессы и аппараты пищевых производств», №2, 2012, [Электронный ресурс.]

7. Арет В.А., Байченко Л.А.,Денисенко А.Ф.,Николаев Л.К.,Щербаков А.С. Использование результатов ротационной вискозиметрии пшеничного теста в расчетах трубопроводов. //Научный журнал ИТМО. Серия: «Процессы и аппараты пищевых производств». (электронный журнал), №1, 2013.

8.Ландау Л.Д ., Лифшиц, Е. М. Гидродинамика. — М., 1986. — («Теоретическая физика», том VI).

Literatura.

1.Shherbakov A. S. Sovershenstvovanie mezhoperacionnogo transportirovanija i intensivifikacija processa formovanija izdelij iz muchnogo raznoztrakovogo testa. Dis. ... kand. tehn. nauk / NIU ITMO, IHiBT. – Sankt-Peterburg., 2013. – 157 s.

2.Zajavka v FIPS № 2013129808 s prioritetom ot 28.06.2013 na patent.

3. . Aret V.A., Bajchenko A., Bajchenko L.A., Golovinskaja O.V., Kuznecov A.V., Shherbakov A.S. Sravnenie reologicheskikh harakteristik pshenichno-kukuruznoj testovoj massy, issleduemoj na rotacionnom i kapilljarnom viskozimetre. Novye tehnologii [Jelektronnyj resurs]: – Referiruemyj nauchnyj zhurnal; Majkop, 2013. – Vyp.№2

4. Aret V.A. i dr. Fiziko-mehaničeskie svojstva syr'ja i gotovoj produkcii / V. A. Aret, B. L. Nikolaev, L. K. Nikolaev. □ SPb.: GIORД, 2009. - 537 s.

5. Aret V.A. Imitacija i invariantnaja reometrija v processah pererabotki pishhevyh mass. Avtoref. diss. ...d-ra tehničeskikh nauk: M., 1982. – 39 s.

6. Shherbakov A.S. Viskozimetrija pshenichnogo testa. / Shherbakov A.S. // Nauchnyj zhurnal SPbGUNiPT. Serija: «Processy i apparaty pishhevyh proizvodstv», №2, 2012, [Jelektronnyj resurs.]

7. Aret V.A., Bajchenko L.A., Denisenko A.F., Nikolaev L.K., Shherbakov A.S. Ispol'zovanie rezul'tatov rotacionnoj viskozimetrii pshenichnogo testa v raschetah truboprovodov. //Nauchnyj zhurnal ITMO. Serija: «Processy i apparaty pishhevyh proizvodstv». (jelektronnyj zhurnal), №1, 2013.

8. Landau L.D., Lifshic, E. M. Hidrodinamika. — M., 1986. — («Teoreticheskaaja fizika», tom VI).

КОНТАКТЫ

Почтовый адрес: Россия, 198334, С.-Петербург, а/я 77
Тел: +7(812)9232239 +7(812)9232239 БЕСПЛАТНО

E-Mail: intermedia.ph@gmail.com

Skype: [intermedia-publishing](https://www.skype.com/join/intermedia-publishing)

Наши реквизиты:

ООО "Издательский Центр "Интермедия""

Юр. адрес: Россия, 198334, С.-Петербург, ул. Партизана Германа, 41-218

ИНН/КПП 7807359979 / 780701001

Р/сч. 40702810501008500608

В филиале "Петровский" ОАО Банк "Открытие"

К/сч. 30101810400000000766 в ГРКЦ ГУ Банка России по СПб

БИК 044030766

ОКАТО 40279564000 ОКПО 90857388