

Research of Rheological Properties Elastic-Viscoplastic Liquid in Pipes

T.Sh. Salavatov, M.A. Dadash-zade, T.S. Babayeva

Azerbaijan State Oil and Industry University (Azadlig ave. 16/21, Baku, AZ1010, Azerbaijan)

For correspondence:

Novruzova Sudaba /e-mail: sudaba.novruzova@mail.ru

Abstract

In paper, a model was proposed that describes the elastic-viscous-plastic properties of liquids, which sequentially connects the elastic and viscous-plastic element. For such a medium, the total stress will be the sum of the stress corresponding to elastic deformation and the stress caused by the viscous-plastic resistance. Based on the proposed model, an equation is obtained taking into account the coefficient of volumetric elastic expansion, an equation is obtained for determining the velocity over the cross section of the pipe and the volumetric flow rate for a given liquid. The calculations showed that with an increase in compressibility, the fluid flow partially increases, which in some practical cases has a positive effect.

Keywords: elasticity, visco-plasticity, elastic expansion, deformation, surfactants.

DOI: 10.52171/2076-0515_2022_14_01_70_74

For citation:

Salavatov T.Sh., Dadash-zade M.A., Babayeva T.S.

[Research of rheological properties elastic-viscoplastic liquid in pipes]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2022, vol. 14, no. 1, pp. 70-74 (*in Russian*)

Elastiki-özlüplastik mayelərin borularda hərəkətinin reoloji tədqiqatları

T.Ş. Salavatov, M.Ə. Dadaş-zadə, T.S. Babayeva

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq pr. 16/21, Bakı, AZ1010, Azərbaycan Respublikası)

Yazışma üçün:

Novruzova Sudaba /e-mail: sudaba.novruzova@mail.ru

Xülasə

Bir çox hidrodinamiki proseslər mayelərin xassələri ilə əlaqədardır. Bildiyimiz kimi, mayelərin mexaniki və fiziki xassələrini müxtəlif modellər ilə göstərmək olar. Sadə prosesləri hidromexaniki nöqtəyi nəzərdən ifadə etmək üçün sadə modellər geniş istifadə olunur. Bu modellərin köməyi ilə müxtəlif sistemlərdə yaranan deformasiyanı tədqiq etmək olar. Qapalı sistemdə səlt mühitin hərəkət qanunlarına görə gərginlik ilə deformasiya arasında əlaqəni ifadə etmək üçün mexaniki modelin olması əsas məsələlərdən biridir. Ədəbiyyatın analizi göstərir ki, bir çox sadə modellər, gərginlik, özlülüklü, plastiki modellərdən geniş istifadə olunur. Onların bəziləri gərginlik maddi cisim kimi baxılır və onlar Huk qanunu ilə ifadə olunurlar. Ancaq praktika göstərir ki, bu sadə modellərlə yanaşı mürəkkəb modellərin də olması labüd şərtidir. Belə modellərdən biri elastiki-özlüplastik modeldir. Baxılan məqalədə elastiki-özlüplastik mayelərin mexaniki modeli verilmişdir. Model əsasında bir çox hidromexaniki prosesləri ifadə etmək olar. Bu mühit üçün gərginlik elastiki deformasiya ilə, özlü-plastik müqavimətin cəmindən ibarətdir. Baxılan model əsasında həcmi elastiki genişlənmə parametri əsasında dairəvi boruda sürətin paylanması və həcmi sərfi hesablamaq üçün tənliklər alınmışdır. Hesabatlar göstərir ki, maye sıxıldıqca onun qismən həcmi hasilatı artır. Bu da öz növbəsində praktikada müsbət effektin yaranmasına səbəb ola bilər. Bu hesabat metodikası sənayenin müxtəlif sahələrində, o cümlədən qazmada, istismarda və layların işlənməsində geniş istifadə oluna bilər.

Açar sözlər: elastiki, özlü-plastiki, elastiki genişlənmə, deformasiya, səthi aktiv maddə.

DOI: 10.52171/2076-0515_2022_14_01_70_74

УДК: 622.692.4

Исследование реологических свойств упруго-вязкопластичной жидкости в трубах

T.Ş. Салаватов, М.А. Дадаш-заде, Т.С. Бабаева

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (пр. Азадлыг 16/21, Баку, AZ1010, Азербайджан)

Для переписки:

Новрузова Судаба /e-mail: sudaba.novruzova@mail.ru

Аннотация

В статье предложена модель, описывающая упруго-вязкопластичные свойства жидкостей и последовательно соединяющая упругий и вязко-пластичный элементы. Для такой среды полное напряжение будет складываться из напряжения, соответствующего упругой деформации, и напряжения, вызываемого вязко-пластичным сопротивлением. На основе предложенной модели получено уравнение с учётом коэффициента объёмного упругого расширения, получено уравнение для определения скорости по сечению трубы и объёмного расхода для данной жидкости. Расчёты показали, что с увеличением сжимаемости расход жидкости частично увеличивается, что в некоторых практических случаях имеет положительный эффект.

Ключевые слова: упругость, вязко-пластичность, упругое расширение, деформация, поверхностно-активные вещества.

Введение

Известно, что механические свойства различных жидкостей могут быть описаны различными моделями. Такие модели дают возможность качественно описать процесс деформации, возникающей в различных системах. Отметим, что для построения замкнутой теории движения среды, должна быть известна связь между кинематическим и динамическим состояниями частицы и, в частности, между напряжениями и деформациями, выражаемая при помощи механической модели.

Отметим, что к простым моделям относятся упругие, вязкие, пластичные. При этом необходимо, чтобы механические уравнения состояния упругого тела выражались при помощи закона Гука. Однако существуют и более сложные жидкости. Одной из таких жидкостей является упруго-вязкопластичная жидкость. В ранних работах [1÷8] были приведены простейшие механические модели, иллюстрирующие механические уравнения состояния вязкого, упругого и пластичного тела. Комбинируя эти данные, а также простейшие модели, можно описать различные сложные среды. Так, упруго-вязкопластичную среду можно характеризовать моделью, в которой последовательно соединены упругий и вязко-пластичный элемент (рис.). Как видно из рисунка при $\sigma_T = 0$ имеем модель Максвелла.

Для такой среды полное напряжение будет складываться из напряжения, соответствующего упругой деформации, и напряжения, вызываемого вязкопластичным сопротивлением.

Цель работы – выявление основных свойств упруго-вязкопластичной жидкости в трубах.

Реологическая модель. С ростом глубин нефтяных и газоконденсатных скважин, значительно возрастают забойные температуры и давления, которые активно воздействуют на физико-химические свойства промысловых жидкостей, тампонажных цементов и неньютоновских нефтей.

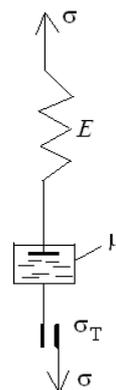


Рисунок – Механическая модель упруго-вязкопластичной жидкости

Figure – Mechanical model of elastic-viscoplastic fluid

Отметим, что применение различных жидкостей в Азербайджане, а также за рубежом показывает, что многие проблемы бурения и эксплуатации скважин могут быть успешно решены с использованием искусственных жидкостей. Эти жидкости получили применение для регулирования параметров промысловых и закачиваемых жидкостей. Для стабилизации и регулирования реологических свойств таких жидкостей применяются синтетические жидкости. При этом стабилизация и повышение термической стойкости таких жидкостей достигается путём добавления полимерных поверхностно-активных веществ.

Некоторые жидкости, относящиеся к упруго-вязкопластичным средам, не подчиняются закону Ньютона.

Деформационное поведение жидкостей с аномальными, упруго-вязкопластичными жидкостями наиболее полно ха-

рактируются тремя параметрами: сжимаемостью, структурной вязкостью и предельным напряжением сдвига. Для решения данной задачи рассмотрим прямолинейное стационарное движение упруго-вязкопластичной жидкости в круглой цилиндрической трубе. Отметим, что в данном случае при решении задач, а также при определении гидравлических сопротивлений влияние начального участка во внимание не принимается. Согласно линейному закону движения сжимаемой жидкости при одномерном движении объёмная упругость расширения жидкости

$$\beta = -\frac{dV}{Vdp} \quad (1)$$

Однако

$$V = \frac{m}{\rho} \text{ или } dV = -\frac{m d\rho}{\rho^2} \quad (2)$$

Решая совместно эти значения, имеем:

$$\beta = \frac{d\rho}{\rho dp} \quad (3)$$

Определим градиент давления:

$$\frac{dp}{dx} = \frac{1}{\beta\rho} \frac{d\rho}{dx} \quad (4)$$

Известно, что уравнение Шведова-Бингама можно записать как

$$\tau = -\mu \frac{dv}{dr} + \tau_0 \quad (5)$$

Учитывая вышеизложенное, запишем баланс сил, действующих на цилиндрический элемент жидкости:

$$\pi r^2 \Delta p = 2\pi r \tau dx \quad (6)$$

Решим конечное уравнение относительно градиента давления и уравнения Шведова-Бингама:

$$\frac{dp}{dx} = \frac{2}{r} \left(\tau_0 - \mu \frac{dv}{dr} \right) \quad (7)$$

С учётом (4) находим:

$$\frac{1}{\beta\rho} \cdot \frac{d\rho}{dx} = \frac{2}{r} \left(\tau_0 - \mu \frac{dv}{dr} \right) \quad (8)$$

Для определения движения жидкости в трубе решим данное уравнение относительно скорости:

$$dv = -\frac{1}{\mu} \left(\frac{1}{2\rho\beta} \cdot \frac{d\rho}{dx} r - \tau_0 \right) dr \quad (9)$$

Интегрируя данное уравнение в пределах от радиуса ядра (r) до радиуса трубы (R), получим следующее выражение:

$$v = \frac{1}{\mu} \left[\frac{1}{4\rho\beta} \cdot \frac{d\rho}{dx} (R^2 - r^2) - \tau_0 (R - r) \right] \quad (10)$$

С учётом объёмного расхода ядра и кольцевого пространства, можно определить:

$$Q = Q_{\text{я}} + Q_{\text{к}} \quad (11)$$

Решая совместно, находим:

$$Q = \frac{\pi R^4}{2\mu} \left[\frac{1}{4\rho\beta} \cdot \frac{\Delta\rho}{L} \left(1 - \frac{\Delta p_0^4}{\Delta p^4} \right) + \frac{2\Delta p_0}{3L} \left(\frac{\Delta p_0^3}{\Delta p^3} - 1 \right) \right] \quad (12)$$

Согласно работе профессора Щелкачёва [5] имеем:

$$\Delta\rho = \rho_n - \rho_k = \rho_0 \beta \Delta p (1 + \beta \bar{p}) \quad (13)$$

$$\text{При этом } \bar{p} = \frac{p_n + p_k}{2}$$

Таким образом, уравнение упруго-вязкопластичной жидкости можно записать:

$$Q = \frac{\pi R^4 \Delta p}{8\mu L} \left[\left(1 - \frac{\Delta p_0^4}{\Delta p^4} \right) (1 + \beta \bar{p}) + \frac{4}{3} \frac{\Delta p_0}{\Delta p} \left(\frac{\Delta p_0^3}{\Delta p^3} - 1 \right) \right] \quad (14)$$

При $\beta = 0$ имеем формулу Шведова-Бингама, а при $\Delta p_0 = 0$ - формулу Пуазейля.

Предложенная расчётная модель даёт возможность определить многочисленные задачи практики, т.е. определить среднюю скорость, потери напора на трение, обобщённое число Рейнольдса. Для упрощения данное уравнение можно записать как:

$$Q = \frac{\pi R^4 \Delta p}{8 \mu L} \left[(1 + \beta p) - \frac{4}{3} \frac{\Delta p_0}{\Delta p} \right] \quad (15)$$

Согласно [9], величина коэффициента объёмной упругости заключается в пределах нефти $\beta_n = (7 \div 30) \cdot 10^{-5} \frac{1}{at}$, а для воды

$$\beta_e = (2,7 \div 5) \cdot 10^{-5} \frac{1}{at}.$$

Как видно, с увеличением коэффициента объёмного упругого расширения расход жидкости увеличивается. В зависимости от природы сжимаемой жидкости в некоторых условиях упругость более доминирует, чем вязкопластичность.

Заклучение

Предложена модель для упруго-вязкопластичной жидкости с учётом коэффициента объёмного упругого расширения. Данная модель – одна из первых работ в области упруго-вязкопластичных жидкостей. Получено уравнение для определения распределения скорости по сечению трубы и объёмный расход для данной жидкости. С увеличением сжимаемости расход жидкости частично увеличивается, что в некоторых практических случаях имеет положительный эффект.

Обозначения

β – коэффициент объёмного упругого расширения; m – масса рассматриваемой жидкости; ρ – плотность сжимаемой жидкости; V – объём сжимаемой жидкости; dp/dx – градиент давления; τ – касательное напряжение сдвига; τ_0 – начальное касательное напряжение сдвига; dv/dr – градиент скорости; Q – объёмный расход; Q_n – расход жидкости в ядре потока; Q_k – расход жидкости в кольцевом пространстве вокруг ядра; R – радиус трубы; Δp – перепад давления; μ – динамическая вязкость; Δp_0 – перепад давления, при котором данная жидкость в трубе с радиусом (R) начинает двигаться; L – длина трубы; \bar{p} – среднее давление; ρ_n и ρ_k – начальное и конечное давление; ρ_n и ρ_k – соответственно плотность жидкости в начале и в конце трубы; ρ_0 – плотность жидкости при атмосферных условиях; v – скорость движения жидкости.

REFERENCES

1. **Mirzadzhanzade A.H., Shirinzade S.A.** Povyshenie effektivnosti i kachestva bureniya glubokih skvazhin. M. Nedra, 1986. 277 s. (in Russian)
2. **Vulis L.A., Kashkarov V.P.** Teoriya struj v yazkoj zhidkosti. Izhevsk, 2007. 439 s. (in Russian)
3. **Dmitriev N.M., Kadet V.V.** Gidravlika i neftegazovaya gidromekhanika. Izhevsk, 2016. 352 s. (in Russian)
4. **Lovkis Z.V.** Gidravlika. Izhevsk, 2012. 439 s. (in Russian)
5. Shchelkachyov V.N., Lapuk B.B. Podzemnaya gidravlika. Izhevsk, 2001. 763 s. (in Russian)
6. **Kelbaliev G.I., Rasulov S.R., Rzaev A.G., Mustafaeva G.R.** Reologiya strukturirovannyh neftej. IFZh, tom 90, № 4, s. 1044-1050. (in Russian)
7. **[Salavatov T.Sh.], Mustafaev A.A., Dadash-zade M.A., Mamedova E.V.** Issledovanie gazliftnyh skvazhin v processe ih puska. Vestnik Azerbajdzhanskoj inzhenernoj akademii, 2013, tom 5, № 1, s. 58-62. (in Russian)
8. **Barnes H.A.** A review of the rheology of filled viscoelastic. Rheol. Rev, 2003, № 2, Pp. 1-21 (in English)
9. **Mirzadzhanzade A.H., Ametov I.M., Kovalyov A.G.** Fizika neftyanogo i gazovogo plasta. Izhevsk, 2005. 267 s. (in Russian)

Поступило: 22.07.2021
Доработано: 09.03.2022
Принято: 15.03.2022