К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ФИЗИКО-РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЯЗКО - УПРУГИХ КОМПОЗИТНЫХ СИСТЕМ

Э.А.КЯЗИМОВ

ГосНИПИ«Гипроморнефтегаз»
AZ 1012, г.Баку, пр.Г.Зардаби, 88

Одним из перспективных методов управления величиной времени релаксации вязко–упругих жидкостей является воздействие внешнего постоянного электрического и магнитного полей.

Учитывая отмеченное, в данной работе теоретически устанавливаются влияния отмеченных полей на время релаксации композитных систем, применяющихся в технологических процессах строительства и эксплуатации скважин.

Композитные системы - реологически сложные среды, обладающие нелинейными вязкоупругопластичными и вязкосыпучими свойствами, которым присущ неравновесный характер течения в трубах и пористых средах. Реологичесие особенности таких систем обуславливают проявление разнообразных свойств и эффектов, на основе которых могут быть разработаны новые технические и технологические решения [1].

Весьма перспективным представляется создание технологий, основанных на использовании физических полей в релаксирующих системах, для повышения их эффективности.

Одним из важных параметров вязко-упругих систем, который может быть выбран как управляющий параметр, является время релаксации. Имеются отдельные экспериментальные работы по определению времени релаксации вязко - упругих композиций, но они носят индивидуальный характер.

В связи с этим возникает необходимость теоретического исследования времени релаксации вязко–упругих жидкостей и установления влияния различных факторов на величину времени релаксации.

Одним из перспективных методов управления величиной времени релаксации вязко–упругих жидкостей является воздействие внешнего постоянного электрического и магнитного полей [2,3].

Учитывая отмеченное в данной работе, теоретически устанавливаются влияния отмеченных полей на времена релаксации.

Рассмотрим ламинарное движение вязко-упругой композитной системы в круглой цилиндрической трубе с длиной l и радиусом R. Дифференциальное уравнение движения композиции имеет вид

$$\rho\left(\frac{\partial V}{\partial t}+\theta\frac{\partial^2 V}{\partial t^2}\right)=\eta\left(\frac{\partial^2 V}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial V}{\partial r}\right)-\left(1+\theta\frac{\partial}{\partial t}\right)\frac{\partial P}{\partial Z}, \qquad (1)$$

где θ – время релаксации, остальные обозначения общепринятые.

Как правило, принимается, что

$$-\frac{\partial P}{\partial Z}=\frac{\Delta P}{l}=f(t)\,.$$

При этом уравнение (1) записывается ввиде:

$$\rho\left(\frac{\partial V}{\partial t}+\theta\frac{\partial^2 V}{\partial t^2}\right)=\eta\left(\frac{\partial^2 V}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial V}{\partial r}\right)+f(t)+\theta\frac{df}{dt}. \qquad (2)$$

Пусть исследуемая среда электропроводящая, и ее течение происходит при наличии постоянного электрического и магнитного полей. Дифференциальное уравнение электропроводящей вязко-упругой композитной системы при наличии отмеченных полей имеет вид:

$$\rho\left(\frac{\partial V}{\partial t}+\theta\frac{\partial^2 V}{\partial t^2}\right)=\eta\left(\frac{\partial^2 V}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial V}{\partial r}\right)+f(t)+\theta\frac{df}{dt}+\sigma(E+VB)B, \tag{3}$$

где σ - коэффициент электропроводности жидкости, E – напряженность электрического поля, В/м, В – индукция магнитного поля, Гс.

Для решения дифференциального уравнения (3) задаются следующие начальные и граничные условия:

$$V(r,0)=0;\quad \frac{\partial V}{\partial t}(r,0)=0;\ \mathrm{V(R,t)}=0;\quad \frac{\partial V}{\partial r}(0,t)=0 \tag{4}$$

Таким образом, поставленная выше задача о влиянии постоянного электрического и магнитного полей на величину времени релаксации математически сводится к решению дифференциального уравнения (3) при условиях (4).

В качестве дополнительного граничного условия необходимого для определения влияния Е и В на величину времени релаксации θ воспользуемся формулой расхода

$$Q=\int_0^R 2\pi r V(r,t)dr. \tag{5}$$

Для решения дифференциального уравнения (3) при условиях (4) применяем преобразование Лапласа. Дифференциальное уравнение (3) имеет вид:

$$\frac{d^2V^*}{dr^2}+\frac{1}{r}\frac{dV^*}{dr}+(\frac{\sigma B^2}{\eta}-\frac{\rho S}{\eta}-\frac{\rho}{\eta}\theta S^2)V^*=-(1+\theta S)f^*-\frac{\sigma EB}{S}, \tag{6}$$

$$\mathrm{V}^*(\mathrm{r,s})=\int_0^\infty V(r,t)e^{-St}dt,\quad f^*(s)=\int_0^\infty f(t)e^{-st}dt.$$

Решение дифференциального уравнения (6) выражается формулой

$$\mathrm{V}^*(\mathrm{r,s})=\mathrm{C_1I_0(Kr)}+\mathrm{C_2K_0(K_1r)}-\Phi\,(\theta,S)$$

$$K^2=\frac{\rho}{\eta}S(1+\theta S)-\frac{\sigma}{\eta}B^2;\ \ \Phi\,(\theta,S)=\frac{1}{K^2}\left[(1+\theta S)f^*+\frac{\sigma EB}{S}\right]. \tag{7}$$

Учитывая, что цилиндрическая функция Бесселя $K_o(K,r)$ удовлетворяет условию $K_o(0)\neq\infty$, то из условия $\frac{dV^*(0)}{dr}=0$, следует, что $C_2=0$. При этом скорость движения жидкости в изображениях определяется из

$$V^*(r,S)=\frac{1}{K}\left[(1+\theta S)f^*+\frac{\sigma EB}{S}\right]\left[1-\frac{I_o(K,r)}{I_o(K,R)}\right]. \tag{8}$$

Расход жидкости в изображениях определяем из выражения

$$Q^*(s)=\varphi^*(S)=\int_0^R 2\pi r V^*(r,s)dr. \tag{9}$$

Подставляя значение $V^*(r,s)$ из (8) в (9) и произведя интегрирования, имеем

$$\varphi^*(s)=\frac{\pi R^2}{K}\left[(1+\theta S)f^*(s)+\frac{\sigma EB}{S}\right]\left[1-\frac{2I_1(K,R)}{KRI_0(KR)}\right]. \tag{10}$$

При малых значениях аргумента цилиндрические функции $I_0(K,R)$ и $K_0(K,R)$ определяются из [4].

$$I_0(K,R) \approx 1+\left(\frac{KR}{2}\right)^2; \; I_1(K,R) \approx \frac{KR}{2}.$$

Учитывая это, уравнение (10) приводится к виду

$$\left\{1+\frac{R^2}{4}\left[\frac{\rho}{\eta}S(1+\theta S)-\frac{\sigma}{\eta}B^2\right]\right\}\varphi^*(s)=\frac{\pi R^4}{4}\left[(1+\theta S)f^*(s)+\frac{\sigma EB}{S}\right]. \tag{11}$$

Отсюда имеем следующее уравнение для определения влияния Е и В на величину времени релаксации θ

$$\theta=\frac{\frac{\pi R^4}{4}f^*-\left(1+\frac{\rho SR^2}{4\eta}\right)\varphi^*+\sigma\left[\frac{\pi R^4}{4S}EB+\frac{R^2B^2}{4\eta}\varphi^*\right]}{\frac{\rho R^2S^2}{4\eta}\varphi^*(s)-\frac{\pi R^4}{4}sf^*(s)}. \tag{12}$$

Для определения примем, что давление и расход со временем изменяются по законам

$$\frac{\Delta P}{l}(t)=f(t)=\frac{\Delta P_0}{l}\left(1-e^{-K_1t}\right); \quad Q(t)=\varphi(t)=Q_0(1-e^{-K_2t}). \tag{13}$$

Значения коэффициентов K_1 и K_2 определяются из эксперимента. Изображения этих функций имеют вид:

$$\begin{gathered} f^*(s)=\int_0^\infty f(t)e^{-st}dt=\frac{\Delta P_0}{l}\frac{K_1}{S(S+K_1)} \\ \varphi^*(s)=\int_0^\infty \varphi(t)e^{-st}dt=Q_0\frac{K_2}{S(S+K_2)} \end{gathered}. \tag{14}$$

С учетом (14) формула (12) приводится к виду

$$\frac{\theta}{t_0}=\frac{\Phi(t_o)-\sigma F(t_0)}{\Phi(t_0)}=1-\sigma\frac{F(t_0)}{\Phi(t_0)},$$

$$\Phi(t_0)=\frac{\rho R^2Q_0}{4\eta}-\frac{\pi R^4\Delta P}{4l}\frac{K_1(1+K_2t_v)}{K_2(1+K_1t_0)}, \quad F(t_0)=\frac{\pi R^4(1+K_2t_0)}{4t_oK_2}+\frac{BR^2Q_0}{4\eta}. \tag{15}$$

Формула (15) является основной в установлении влияния Е и В на величину θ. Из этого уравнения видно, что левая часть в зависимости от $\frac{1}{t_0}$ есть прямая линия с угловым коэффициентом равным θ. В силу равенства и правая часть этой формулы в зависимости от $\frac{1}{t_0}$ должна быть прямой. Приравнивая угловые коэффициенты этих прямых, определяем искомую величину.

Из уравнения (15) следует, что при прочих равных условиях с увеличением напряженностей электрического и магнитного полей время релаксации существенно изменяются. Поэтому пользуясь формулой (15) можно управлять величиной θ с помощью Е и В. В случаях, если имеет место неравенство

$$\frac{\rho R^2Q_0}{4\eta}\succ\frac{\pi R^4}{4l}\Delta P\frac{K_1(1+K_2t_0)}{K_2(1+K_1t_0)},$$

что соответствует расходу жидкости

$$Q_0\succ\frac{\pi R^4\Delta P\eta}{\rho l}\frac{K_1(1+K_2t_0)}{K_2(1+K_1t_0)},$$

с увеличением напряженностей электрического и магнитного полей время релаксации уменьшается.

Если $$Q_0 \prec \frac{\pi R^4 \Delta P \eta}{\rho l} \frac{K_1(1+K_2 t_0)}{K_2(1+K_1 t_0)},$$

то с увеличением E и B время релаксации увеличивается.

Если $$Q_0 = \frac{\pi R^4 \Delta P \eta}{\rho l} \frac{K_1(1+K_2 t_0)}{K_2(1+K_1 t_0)},$$

то время релаксации не зависит от E и B.

Отметим, что при известных значениях времени релаксации θ, из уравнения (12) можно найти значение коэффициента электропроводности σ упруго-вязкой жидкости.

Если в качестве управляющего параметра упруго-вязкой жидкости принять коэффициент электропроводности, то для его определения будем иметь

$$\sigma = \frac{\theta\left[\frac{\rho R^2}{4\eta} s\varphi^* - \frac{\pi R^4}{4} sf^*\right] - \left[\frac{\pi R^4}{4} f^* - \left(1 + \frac{R^2 \rho s}{4\eta}\right)\varphi^*\right]}{\frac{\pi R^4}{4}\frac{EB}{s} + \frac{B^2 R^2}{4\eta}\varphi^*}. \tag{16}$$

Формула (16) устанавливает связь между коэффициентом электропроводности σ и другими реологическими свойствами жидкости, в частности, коэффициентом вязкости η, плотности ρ и времени релаксации θ. Если в (16) перейти к переменной $S = \frac{1}{t_0}$, то будем иметь

$$\sigma t_0 = \frac{\theta\left[\frac{\rho R^2}{4\eta} \varphi^*(t_0) - \frac{\pi R^4}{4} f^*(t_0)\right] - \left[\frac{\pi R^4}{4} f^* - \left(t_0 + \frac{R^2 \rho}{4\eta}\right)\varphi^*\right]}{\frac{\pi R^4}{4} t_0 EB + \frac{B^2 R^2}{4\eta}\varphi^*}. \tag{17}$$

Левая часть уравнения (17) в зависимости от t_0 есть прямая линия с угловым коэффициентом равным σ, в силу равенства и правая часть его должна быть прямой в зависимости от t_0. Приравнивая угловые коэффициенты этих прямых, определяем σ в зависимости от θ, динамической вязкости (η), плотности (ρ), E и B.

Очевидно, имеет место неравенство

$$\frac{\pi R^4}{4} t_0 EB + \frac{B^2 R^2}{4\eta}\varphi^*(t_0) \succ 0,$$

т.е. знаменатель дроби в (17) величина положительная. Поэтому влияние времени релаксации θ на коэффициент электропроводности зависит от выражения вчислителе формулы (17), т.е. от величины

$$\frac{\rho R^2}{4\eta}\varphi^*(t_0) - \frac{\eta R^4}{4} f^*(t_0)$$

Возможны 2 случая:

1) Если $$\frac{\rho R^2}{4\eta}\varphi^*(t_0) \succ \frac{\eta R^4}{4} f^*(t_0),$$

то с увеличением θ коэффициент электропроводности σ увеличивается.

2) В случае, когда $$\frac{\rho R^2}{4\eta}\varphi^*(t_0) \prec \frac{\eta R^4}{4} f^*(t_0),$$

то с увеличением θ коэффициент электропроводности σ уменьшается.

3) Случай $$\frac{\rho R^2}{4\eta}\varphi^*(t_0) = \frac{\eta R^4}{4} f^*(t_0)$$

соответствует нерелаксирующей жидкости.

Таким образом, выбирая необходимый вариант на основе вышеизложенной методики, можно управлять технологическим процессом, используя в качестве управляемого параметра время релаксации θ или коэффициент электропроводности σ.

Автор выражает благодарность д.т.н., профессору Г.Т.Гасанову за оказанную помощь при решении поставленной задачи.

1. И.М.Аметов, Н.М. Шерстнев, *Применение композитных систем в технологических процессах эксплуатации скважин. М: Недра*, (1989) 215.
2. А.Х.Мирзаджанзаде, Н.А.Алиев, Х.Б.Юсифзаде и др., *Фрагменты разработки нефтегазовых месторождений. Баку: Элм,* (1997) 408.
3. А.Х.Мирзаджанзаде, О.Л.Кузнецов, К.С.Басниев, З.С. Алиев, *Основы технологии добычи газа. М: Недра*, (2003) 880.
4. М.Абрамович, И.Стиган, *Справочник по специальным функциям. М: Наука,* (1979) 830.

ÖZÜLÜ-ELASTİK KOMPOZİT SİSTEMLƏRİN FİZİKİ-REOLOJİ XASSƏLƏRİNİN TƏYİNİ BARƏDƏ

E.A.KAZIMOV

Kompozit sistemlər reoloji mürəkkəb mühitlərə aid olub, borularda və məsaməli mühitlərdə hərəkətləri prosesində fərdi xassələr nümayiş etdirməyə qadirdirlər. Bu sistemlərin xüsusiyyətlərini nəzərə alaraq onların müxtəlif texnoloji prosseslərdə istifadəsinə zərurət yaranır.

Müxtəlif fiziki sahələrin təsiri altında kompozit sistemlərin reotexnoloji xassələrinin tənzimlənməsi praktiki maraq doğurduğundan nəzəri tədqiqatlar aparılmışdır.

Sabit elektrik və maqnit sahələrinin təsirləri altında özülü-elastik xassəli kompozit sistemlərin relaksasiya müddətlərinə təsirinin qiymətləndirilməsinə imkan verən idarəetmə üsulu təklif olunmuşdur.

ABOUT DEFINING PHYSICAL-RHEOLOGICAL PROPERTIE S OF COMPOSITE SYSTEMS WITH ELASTIC BASES

E.A. KAZIMOV

Composite systems refered to the rheological composite medium are able to display special properties in its moving processes in the tubes and porous medium. It is necessary to use them in the different technological processes taking into account the properties of these systems.

It was researched theoretically, as to regulate reotechnological properties of composite systems aroused practical interest under the impact of different physical spheres.

Operating style anabling to estimate the impact of composite systems with elastic bases to the relaxation periods under the influence of constant electric and magnetic spheres were offered.

Редактор: А.Гарибов