



П. М. Косьянов
д-р физ.-мат. наук
канд. техн. наук
доцент
Тюменский индустриальный университет
филиал в Нижневартовске
кафедра гуманитарно-экономических
и естественнонаучных дисциплин¹
профессор
kospiter2012@yandex.ru

Исследования воздействия тепловыми и электромагнитными полями на вязкость нефти

¹Россия, 628 600, Тюменская обл., г. Нижневартовск, ул. Ленина 2/П, стр. 9.

В статье представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований зависимости вязкости нефти от различных физических параметров. Рассмотрено влияние тепловыми и электромагнитными полями на снижение вязкости нефти. Определены зависимости вязкости нефти от температуры, напряженности и частоты электромагнитного поля. Показаны пути повышения нефтедобычи интегрированием различных физических способов.

Ключевые слова: вязкость; электролит; нефтедобыча; фильтруемый объем; тепловое и электромагнитное воздействие; частота и напряженность электромагнитного поля; удельное сопротивление нефти и флюидов; подвижность молекул

Определение физических параметров, максимально снижающих вязкость нефти при минимально возможном загрязнении окружающей среды, с целью последующей разработки наиболее эффективных и высокоэкологических способов добычи нефти является важнейшим направлением, представляющим огромный научный и прикладной интерес. В работах [1–3] показаны пути интеграции способов нефтедобычи, сочетающих воздействие на пласт тепловых и электромагнитных полей. Одна из главных проблем в исследовании свойств нефти – выражение вязкости нефти в явном виде, что является большой и актуальной научной задачей. На сегодняшний день вязкость определяется в лабораторных условиях по фильтруемым объемам. В рассматриваемой модели [2, 3] повышение нефтедобычи предполагает повышение

пластового давления, снижение вязкости и проницаемости воздействием внешних физических факторов. Современная геофизика использует все виды физических полей. Из наиболее экологически безопасных способов разработки – паротепловое воздействие на пласт, $K < 70\%$; электромагнитное, $K \leq 70\%$. Необходимо было провести экспериментальные исследования воздействия на вязкость нефти теплового и электромагнитного полей, как по отдельности, так и совместно. Опыты проводились на экспериментальной установке, разработанной в лаборатории физики филиала ТИУ в г. Нижневартовске, на базе лабораторного комплекса ЛКЭ-6 (рис. 1).

Экспериментальные результаты

Были проведены измерения вязкости по методике «Определение вязкости (ГОСТ 33-82)» [4, 5] для нефти Матюшкинского месторождения с во-

Рис. 1.
Экспериментальная установка



№ серии измерений	Температура		Среднее время t_{cp}, c	Динамическая вязкость η МПа·с
	T, °C	T, K		
1	20	293	8,51	21,701
2	25	298	7,86	20,056
3	30	303	6,72	17,136
4	35	308	6,63	16,907
5	40	313	6,21	15,836
6	45	318	6,03	15,364
7	50	323	5,62	14,331

Таблица 1.

Результаты измерений вязкости нефти без электролита и без поля с увеличением температуры

донасыщенностью 15% без добавления электролита. Результаты приведены в **табл. 1**.

В **табл. 2** приведены результаты измерений вязкостей нефти при тепловом воздействии с добавлением 20% электролита.

Как видно из результатов, вязкость нефти с добавлением электролита возрастает. Была рассчитана электропроводность (удельное сопротивление) межпластовых флюидов [3], электрические свойства водных растворов электролитов и углеводородных жидкостей. Рассчитанные значения для растворов солей:

$$p_c = \frac{10}{\sum_{i=1}^n \wedge_i c_i} \approx 25,3 \text{ Ом}\cdot\text{м} \quad (1).$$

Соответственно:

$$\sigma_c = \frac{1}{p_c} \approx 39,5 \cdot 10^{-3} \text{ Сим/м} \quad (2).$$

Используя данные значения напряженности электрического поля

$$E = \frac{U_m}{d} = \frac{8}{0,28} = 28,6 \text{ В/м}, \quad (3)$$

где U_m – амплитудное напряжение, d – расстояние между обкладками разборного конденсатора, находим, что плотность тока для жидкого флюида составляет:

$$J = \sigma E \approx 1,1 \text{ А/м}^2 \quad (4).$$

Результаты измерений вязкостей нефти при одновременном тепловом и электромагнитном воздействиях приведены в **табл. 3, 4**.

Как видно, наложение электромагнитного поля приводит к снижению вязкости, что ожидается. Удивительно, что добавление электролита не дает большего снижения вязкости, скорее, замедляет уменьшение вязкости с ростом температуры. Сравнение аппроксимаций зависимостей линейными, гиперболическими и экспоненциальными функциями показало минимальные дисперсии при использовании гиперболических функций.

Таблица 2.

Результаты измерений вязкости нефти с электролитом и без поля с увеличением температуры

№ серии измерений	Температура		Среднее время t_{cp}, c	Динамическая вязкость η МПа·с
	T, °C	T, K		
1	20	293	12,35	31,47
2	25	298	10,64	27,11
3	30	303	9,19	23,41
4	35	308	8,51	21,68
5	40	313	7,61	19,38
6	45	318	6,76	17,24
7	50	323	6,24	15,89

№ серии измерений	Температура		Среднее время t_{cp}, c	Динамическая вязкость η МПа·с
	T, °C	T, K		
1	20	293	7,750	19,763
2	25	298	7,590	19,355
3	30	303	7,017	17,893
4	35	308	6,630	16,907
5	40	313	5,595	14,267
6	45	318	5,370	13,694
7	50	323	4,985	12,712

Таблица 3.
Результаты измерений вязкости нефти без электролита от температуры в электромагнитном поле

Аппроксимация результатов измерений линейной функцией показана на **рис. 2**.

Дисперсии для данных аппроксимаций составили: а) $S = 0,81$; б) $S = 1,36$; в) $S = 0,96$; д) $S = 0,38$.

Аппроксимация результатов измерений гиперболической функцией показана на **рис. 3**.

Дисперсии для данных аппроксимаций составили: а) $S = 0,18$; б) $S = 0,16$; в) $S = 0,11$; д) $S = 0,39$.

Выводы

Результаты опытов показали, что если тепловое воздействие однозначно приводит к снижению вязкости, то воздействие электромагнитным полем с $E = 28,6$ В/м и $\nu = 105$ КГц заметно снижает вязкость только при одновременном воздействии с тепловым полем. Причем добавление электролита замедляет

уменьшение вязкости нефти с ростом температуры. Это говорит о том, что механизм снижения вязкости обусловлен не протеканием токов проводимости в жидких флюидах коллектора, а возрастанием подвижности молекул жидких флюидов, приводящей к снижению межмолекулярных сил и, как следствие, снижению вязкости нефти. Данный вывод подтверждается снижением вязкости только при воздействии переменного поля и отсутствием эффекта при использовании постоянных или низкочастотных полей. Вышесказанное подтверждает тот факт, что увеличение подвижности молекул, являющихся диполями, обусловлено вынужденными колебаниями под действием внешнего переменного поля. Максимальный эффект следует ожидать при приближении частоты поля к собственной частоте колебаний молекул, т.е. в области резонанса.

Таблица 4.
Результаты измерений вязкости нефти с электролитом от температуры в электромагнитном поле

№ серии измерений	Температура		Среднее время t_{cp}, c	Динамическая вязкость η МПа·с
	T, °C	T, K		
1	20	293	10,57	26,928
2	25	298	9,11	23,205
3	30	303	7,61	19,380
4	35	308	6,68	17,034
5	40	313	6,30	16,039
6	45	318	6,10	15,504
7	50	323	5,59	14,229

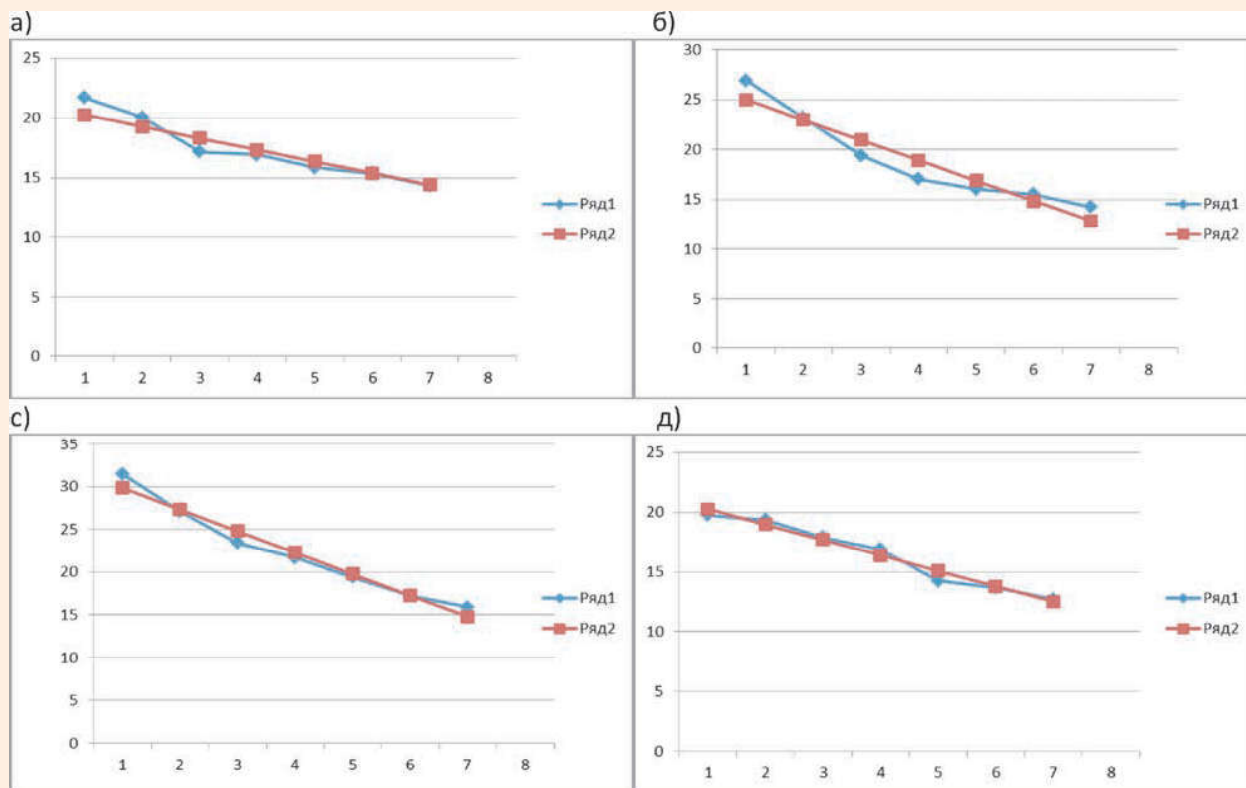
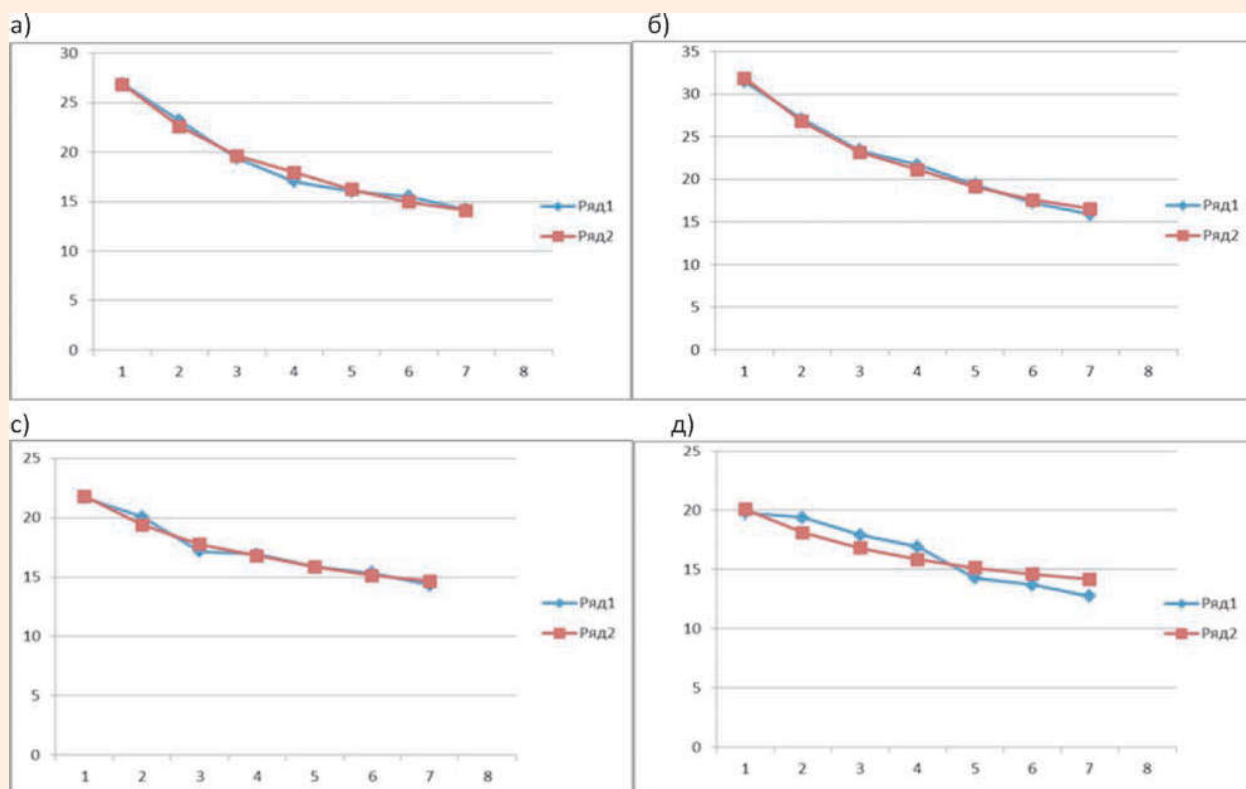



Рис. 2.
Зависимость вязкости нефти от температуры. Аппроксимация результатов измерений линейной функцией: а) без электролита и без поля; б) с электролитом и без поля; в) без электролита и с полем; д) с электролитом и с полем

Рис. 3.
Зависимость вязкости нефти от температуры. Аппроксимация результатов измерений гиперболической функцией: а) без электролита и без поля; б) с электролитом и без поля; в) без электролита и с полем; д) с электролитом и с полем



Из выше рассмотренных экспериментальных данных следует, что перспективность повышения нефтедобычи заключается в интегрировании и сочетании теплового и электромагнитного способов разработки. Паротепловое воздействие в сочета-

нии с воздействием на нефть электромагнитным переменным полем приводит к снижению проницаемости и вязкости пластовых флюидов: нефти, воды и газов, что в свою очередь позволяет повысить нефтедобычу. 

Литература

1. Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Кожевников Д.А. Петрофизика (физика горных пород). М.: Нефть и газ. 2004. 367с.
2. Косьянов П.М. Модель определения и повышения КИН. Проблемы и пути их решения. // Инновационные процессы в науке и технике XXI века. Материалы XVII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, ученых, педагогических работников и специалистов-практиков. Тюмень. 2019. С. 8–13.
3. Kosianov P.M. Ways to Improve Production Efficiency. Problems and Ways of Their Solution// Journal of Computational and Theoretical Nanoscience 2019 Vol. 16, 3094–3097.
4. ГОСТ 33-82. Нефтепродукты. Метод определения кинематической и расчет динамической вязкости. Дата введения 01.01.1983. М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. 31 с.
5. ГОСТ 10028-81. Вискозиметры капиллярные стеклянные. Технические условия. Дата введения 01.01.1983. М.: Стандартиформ, 2005. 50 с.

UDC 53.097

P.M. Kosianov, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, PhD, Associate Professor of Tyumen Industrial University, a branch in Nizhnevartovsk1, kospiter2012@yandex.ru

¹2/П, bldg. 9, Lenin str., Nizhnevartovsk, Tyumen region, 628600, Russia.

Studies of the Effect of Thermal and Electromagnetic Fields on the Viscosity of Oil

Abstract. The article presents the results of theoretical and experimental studies of the dependence of oil viscosity on various physical parameters. Thus, the influence of thermal and electromagnetic fields on the reduction of oil viscosity is considered. The dependences of oil viscosity on the temperature, intensity and frequency of the electromagnetic field are determined. Ways to increase oil production by integrating various physical methods are shown. The results of the experiments showed that if the thermal effect unambiguously leads to a decrease in viscosity, then the effect of an electromagnetic field, with $E = 28.6 \text{ V/m}$ and $\gamma = 105 \text{ kHz}$, significantly reduces the viscosity, only when simultaneously exposed to a thermal field. Moreover, the addition of electrolyte slows down the decrease in oil viscosity with increasing temperature. This suggests that the mechanism of viscosity reduction is not due to the flow of conduction currents in the liquid fluids of the reservoir, but to an increase in the mobility of liquid fluid molecules, which leads to a decrease in intermolecular forces and, as a consequence, a decrease in the viscosity of oil. This conclusion is confirmed by the decrease in viscosity only when exposed to an alternating field, and the lack of effect when using constant or low-frequency fields. The above confirms the fact that the increase in the mobility of molecules that are dipoles is due to forced vibrations under the action of an external alternating field. The maximum effect should be expected when the field frequency approaches the natural frequency of vibrations of molecules, that is, in the resonance region. From the above considered experimental data, it follows that the prospect of increasing oil production lies in the integration and combination of thermal and electromagnetic methods of development. The thermal steam effect in combination with the effect of an electromagnetic alternating field on oil leads to a decrease in the permeability and viscosity of formation fluids: oil, water and gases, which in turn allows increasing oil production.

Keywords: viscosity; electrolyte; oil production; filtered volume; thermal and electromagnetic effects; frequency and intensity of the electromagnetic field; specific resistance of oil and fluids; molecular mobility.

References

1. Dobrynin V.M., Vendel'shtein B.Iu., Kozhevnikov D.A. *Petrofizika (fizika gornyykh porod)* [Petrophysics (physics of rocks)]. Moscow, Neft' i gaz Publ., 2004, 367 p.
2. Kosianov P.M. *Model' opredeleniia i povysheniia KIN. Problemy i puti ikh resheniia* [Model for determining and increasing oil recovery factor. Problems and ways to solve them]. *Innovatsionnye protsessy v nauke i tekhnike XXI veka* [Innovative processes in science and technology of the XXI century]. Materials of the XVII International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates, Scientists, Teachers and Practitioners. Tyumen, 2019, pp. 8–13.
3. Kosianov P.M. Ways to Improve Production Efficiency. Problems and Ways of Their Solution// Journal of Computational and Theoretical Nanoscience 2019 Vol. 16, 3094–3097.
4. *GOST 33-82. Neфтепродукты. Метод определения кинематической и расчет динамической вязкости. Дата введения 01.01.1983* [GOST 33-82. Petroleum products. Method for determining kinematic and calculating dynamic viscosity. Date of introduction 01.01.1983]. Moscow, ИПК Издательство стандартов Publ., 1997, 31 p.
5. *GOST 10028-81. Вискозиметры капиллярные стеклянные. Технические условия. Дата введения 01.01.1983* [GOST 10028-81. Capillary glass viscometers. Technical conditions. Date of introduction 01.01.1983]. Moscow, Standartinform Publ., 2005, 50 p.