

**Косьянов П.М.**

Доктор физико-математических наук,  
кандидат технических наук, доцент  
Тюменский индустриальный университет,  
филиал в г. Нижневартовске  
kospiter2012@yandex.ru

# ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВЫМИ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ НА ВЯЗКОСТЬ НЕФТИ

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

**Ключевые слова:** вязкость, электролит, нефтедобыча, фильтруемый объём, тепловое и электромагнитное воздействие, частота и напряжённость 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 объёмам. В рассматриваемой модели [2,3] повышение нефтедобычи предполагает повышение пластового давления, снижения вязкости и проницаемости, воздействием внешних физических факторов. Современная геофизика использует все виды физических полей. Из наиболее экологически безопасных способов разработки: Паротепловое воздействие на пласт,  $K < 70\%$ ; Электромагнитные,  $K \leq 70\%$ . 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 **рисунок 1**.

### Экспериментальные результаты

Были проведены измерения вязкости по методике «Определение вязкости (ГОСТ 33-82)» [4,5] для нефти Матюшкинского месторождения с водонасыщенностью 15% без добавления электролита. Результаты приведены **таблице 1**.

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

**Таблица 1.**

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

№ серии измерений	Температура		Среднее время $t_{cp}, c$	Динамическая. вязкость $\eta$ <b>мПа·с</b>
	$T, ^\circ C$	$T, K$		
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



**Рис. 1**  
Экспериментальная установка

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:

$$\rho_c = \frac{10}{\sum_{i=1}^n \Lambda_i c_i} \approx 25,3 \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

Соответственно

$$\sigma_c = \frac{1}{\rho_c} \approx 39,5 \cdot 10^{-3} \text{ Сим/м}$$

Используя данные значения напряжённости электрического поля

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

Где  $U_m$  – амплитудное напряжение,  $d$  – расстояние между обкладками разборного конденсатора, плотность тока для жидкого флюида составляет:

$$J = \sigma E \approx 1,1 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}$$

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

Таблица. 2.

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

№ серии измерений	Температура		Среднее время $t_{cp}$ , с	Динамическая. вязкость $\eta$ 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

Таблица. 3.

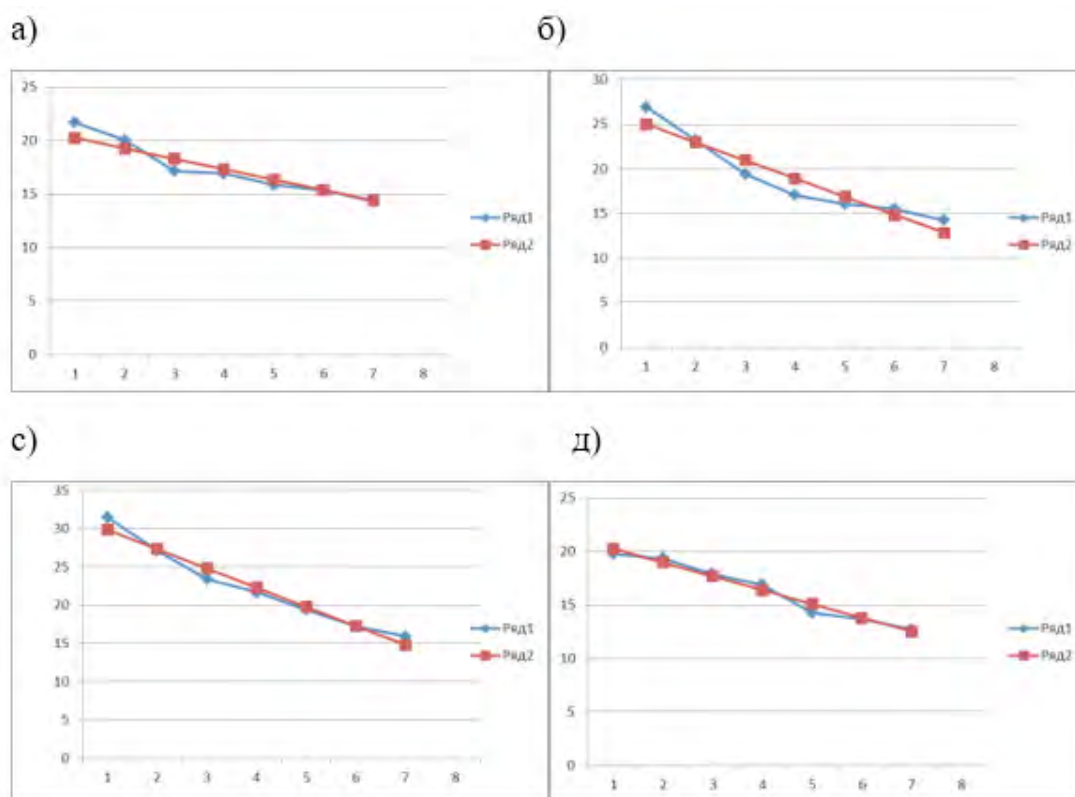
Результаты измерений вязкости нефти без электролита от температуры в электромагнитном поле.

№ серии измерений	Температура		Среднее время $t_{cp}$ , с	Динамическая. вязкость $\eta$ 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

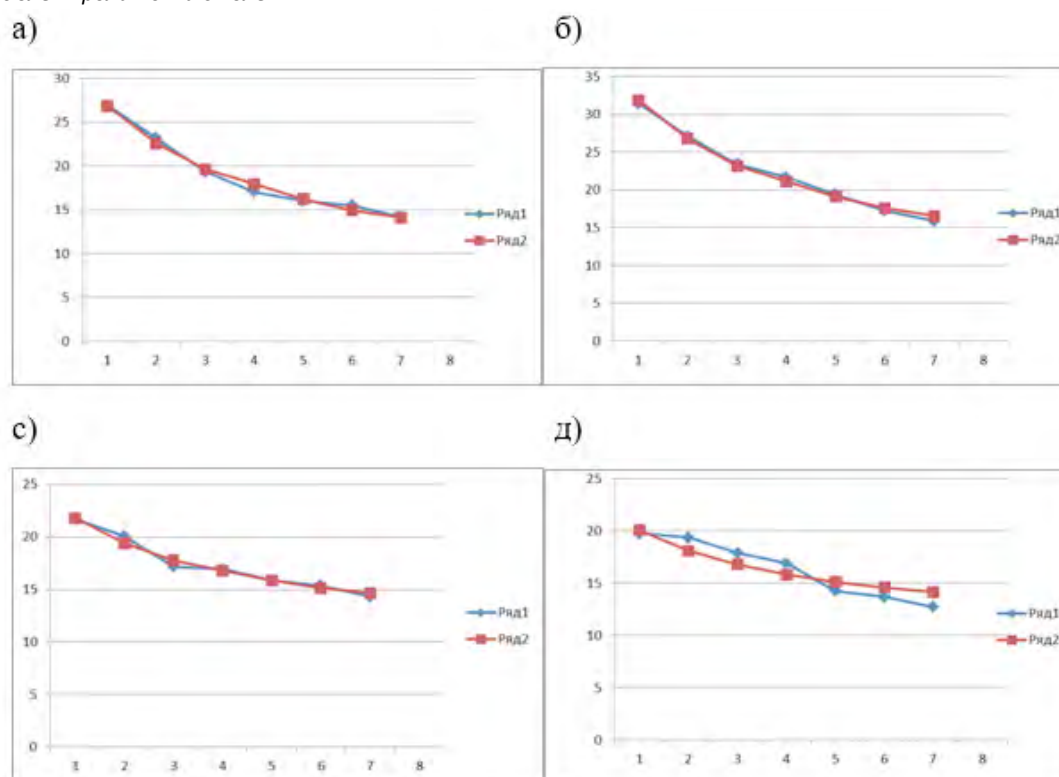
Таблица. 4.

Результаты измерений вязкости нефти с электролитом от температуры в электромагнитном поле

№ серии измерений	Температура		Среднее время $t_{cp}$ , с	Динамическая. вязкость $\eta$ 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;  
 г) 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;  
 г) с электролитом и с полем

Как видно, наложение электромагнитного поля приводит к снижению вязкости, что ожидаемо. Удивительно, что добавление электролита, не даёт 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.

Аппроксимация результатов измерений линейной функцией показана на *рисунке 2а, б, с и д*.

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 *рисунке 3а, б, с и д*.

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

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты опытов показали, что если тепловое воздействие однозначно приводит к снижению вязкости, то воздействие электромагнитным полем, с  $E = 28,6$  В/м и 105 КГц, заметно снижает вязкость, только при одновременном воздействии с тепловым полем. Причём добавление электролита замедляет уменьшение вязкости нефти с ростом температуры. Это гово-

рит о том, что механизм снижения вязкости обусловлен не протеканием токов проводимости в жидких флюидах коллектора, а возрастанием подвижности молекул жидких флюидов, приводящих к снижению межмолекулярных сил и как следствие, снижению вязкости нефти. Данный вывод подтверждается снижением вязкости только при воздействии переменного поля, и отсутствию 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, то есть в области резонанса.

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

## Литература

1. Добрынин В.М. ПЕТРОФИЗИКА (физика горных пород). В.М. Добрынин, Б.Ю. Вендельштейн, Д.А. Кожевников. – 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, учёных, 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 расчёт динамической вязкости. – Введ. 1983-01-01. Москва: ИПК Издательство стандартов, 1997 – 31 с.
5. ГОСТ 10028-81. Вискозиметры капиллярные стеклянные. Технические условия. – Введ. 1983-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2005. – 50 с.

UDC 53.097

**P.M. Kosianov**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Tyumen Industrial University, a branch in Nizhnevartovsk, kospiter2012@yandex.ru

## STUDIES OF THE EFFECT OF THERMAL AND ELECTROMAGNETIC FIELDS ON THE VISCOSITY OF OIL

**Abstract:** This 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.

**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.