

# ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

Лиана Ароновна КОВАЛЕВА<sup>1</sup>

Расул Рашитович ЗИННАТУЛЛИН<sup>2</sup>

Гульшат Ильдаровна МУХАРЯМОВА<sup>3</sup>

УДК 537.876.23

## ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО, СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО И ТЕПЛООВОГО ВИДОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СВОЙСТВА ЯРЕГСКОЙ И ДЕВОНСКОЙ НЕФТЕЙ

<sup>1</sup> доктор технических наук, профессор,  
заведующая кафедрой прикладной физики,  
Физико-технический институт,  
Башкирский государственный университет (г. Уфа)  
liana-kovaleva@yandex.ru

<sup>2</sup> кандидат технических наук,  
доцент кафедры прикладной физики,  
Физико-технический институт,  
Башкирский государственный университет (г. Уфа)  
rasulz@yandex.ru

<sup>3</sup> аспирант кафедры прикладной физики,  
Физико-технический институт,  
Башкирский государственный университет (г. Уфа)  
gulshat-karimova-1993@mail.ru

---

**Цитирование:** Ковалева Л. А. Исследования влияния высокочастотного, сверхвысокочастотного электромагнитного и теплового видов воздействия на свойства Ярегской и Девонской нефтей / Л. А. Ковалева, Р. Р. Зиннатуллин, Г. И. Мухарямова // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2021. Том 7. № 4 (28). С. 10-26.  
DOI: 10.21684/2411-7978-2021-7-4-10-26

---

### **Аннотация**

Нефти, добываемые в различных регионах и месторождениях, существенно отличаются по качеству. Организация трубопроводного транспорта потоков нефти широкого диапазона качества, добываемых в различных географических регионах, по системе со сложной топологической структурой возможна, но только при управлении качеством нефти в транспортных потоках, в частности управлением таким свойством нефтей, как вязкость.

Вязкость нефти оказывает решающее влияние на производительность насосно-силового оборудования. От вязкости зависят характеристики магистральных нефтепроводов. Влияя на вязкость, возможно изменить результаты гидравлических расчетов магистральных нефтепроводов и насосно-силового оборудования, не меняя его, поэтому задача изменения реологических характеристик перекачиваемых нефтей является актуальной. В данной работе впервые рассматриваются тепловой, сверхвысокочастотный электромагнитный (СВЧ ЭМ), высокочастотный электромагнитный (ВЧ ЭМ) методы воздействия на Сибирскую Девонскую товарную нефть и товарную нефть Тимано-Печорской провинции — Ярегскую.

Обе нефти были подвержены тепловому, высокочастотному и сверхвысокочастотному электромагнитным воздействиям на уникальных лабораторных стендах, собранных на базе Башкирского государственного университета.

В результате проведенных исследований было выяснено, что электромагнитная обработка оказывает влияние на реологические свойства данных нефтей, причем наибольшую эффективность оказал ЭМ ВЧ метод воздействия в интервале температур, соответствующих температурам эксплуатации магистральных нефтепроводов.

Время релаксации реологических свойств Девонской и Ярегской нефтей после ЭМ обработки составляет 5 дней, что значительно больше по сравнению с популярным на сегодняшний день тепловым нагревом. Результаты предварительного теплового воздействия с последующим охлаждением на Девонскую и Ярегскую нефть показали меньшую эффективность по сравнению с результатами электромагнитного воздействия. При достижении температур 30 °С и выше эффективность теплового и ЭМ методов воздействий для обеих нефтей сводится к нулю.

Еще одной проблемой, возникающей при трубопроводном транспорте Ярегской и Девонской нефтей, является образование асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) на внутренних стенках нефтепровода, приводящее к необходимости более частых очисток нефтепровода, большему энергопотреблению для обеспечения заданной производительности нефтепровода. Одним из методов решения данной проблемы тоже стала ЭМ обработка. В результате эксперимента по определению количества отложений на внутренних стенках нефтепроводов нефтей без обработки и после ЭМ воздействий, выполненного в рамках данной работы, было выявлено, что ВЧ ЭМ обработка является превентивным методом борьбы с АСПО для Ярегской и Девонской нефтей. Для Ярегской нефти, обработанной ВЧ ЭМ полем, величина АСПО на стенках модельного нефтепровода оказалась в 6 раз меньше, чем для необработанной Ярегской нефти.

Итак, в результате всех проведенных в рамках исследования работ выяснено, что высокочастотные и сверхвысокочастотные электромагнитные методы обработки эффективны в процессах транспорта Ярегской и Девонской нефтей и, в отличие от теплового метода воздействия и введения присадок, способствуют не только увеличению производительности работы нефтепроводов за счет улучшения реологических свойств нефти на достаточно продолжительный период времени, но и также меньшему образованию отложений АСПО на внутренних стенках нефтепроводов.

#### **Ключевые слова**

Реологические свойства, электромагнитная обработка, сверхвысокочастотная электромагнитная обработка, высокочастотная электромагнитная обработка, тепловая обработка, Ярегская нефть, Девонская нефть, динамическая вязкость, время релаксации, асфальтосмолопарафиновые отложения (АСПО).

**DOI: 10.21684/2411-7978-2021-7-4-10-26**

#### **Введение**

В последние годы Россия занимает лидирующие позиции по объему добычи сырой нефти и обеспечивает 12% мировой торговли нефтью. Свыше 4/5 объема российской нефти экспортируется в страны Европы, доля России на рынках которых составляет около 30% [8].

Нефти России, добываемые в различных регионах и месторождениях, существенно отличаются по качеству. Так, для основных добывающих регионов страны Западной и Центральной Сибири характерны месторождения с малосернистой и сернистой нефтью [5], для Южного региона России — месторождения с малосернистыми нефтями, обладающими низкой плотностью, высокой температурой застывания и значительным содержанием парафинов. Нефти Северного Кавказа — легкие и малосернистые, с высоким содержанием светлых фракций. В Северном регионе добыча ведется в основном на месторождениях Тимано-Печорской провинции. Нефти здесь смолистые, с высоким содержанием парафина и высокой температурой застывания, большинство нефтей с небольшим содержанием серы [1].

С 2010 г. наблюдается устойчивый рост приема высокосернистых ресурсов, добываемых в Татарстане, Башкортостане, Удмуртии, Оренбургской и Самарской областях. С 2015 г. в Коми идет увеличение приема аномальной по своим реологическим свойствам нефти Ярегского месторождения [3]. В связи с этим становится актуальной проблема увеличения производительности транспорта и добычи таких нефтей.

При трубопроводном транспорте нефти решающее влияние на производительность насосно-силового оборудования оказывает вязкость. Так, например, характеристики насосов снимают при испытаниях на холодной воде. При перекачке более вязких жидкостей, например нефтей, возрастают потери напора в проточной части насоса, а также потери на дисковое трение. Поэтому характеристики насоса

при перекачке более вязких жидкостей пересчитываются [10]. Увеличение вязкости перекачиваемого продукта приводит к снижению эффективности работы насосно-силового оборудования при сохранении того же уровня энергопотребления. От вязкости зависят и характеристики магистральных нефтепроводов [11]. Влияя на вязкость, возможно изменить результаты гидравлических расчетов магистральных нефтепроводов и насосно-силового оборудования, не меняя его, поэтому задача изменения реологических характеристик перекачиваемых нефтей является актуальной.

### Объекты и методы исследований реологических свойств Ярегской и Девонской нефтей

В данной работе экспериментально исследуется влияние высокочастотного (ВЧ), сверхвысокочастотного (СВЧ) электромагнитных (ЭМ) полей, а также теплового воздействия на свойства высокосернистой Девонской и аномальной по реологическим свойствам Ярегской товарных нефтей.

Для проведения экспериментальных исследований воздействия ВЧ и СВЧ ЭМ полей на указанные образцы нефтей использовались лабораторные стенды, собранные на базе Башкирского государственного университета [4]. Один из них, для ВЧ воздействия, включает в себя высокочастотный четвертьволновой электромагнитный резонатор, представляющий собой коаксиальную систему переменной емкости (рис. 1), в котором происходит обработка протекающей нефти. Образцы нефтей в объеме 500 мл прокачивались через этот узел обработки электромагнитным полем. Под действием ВЧ ЭМ поля с частотой 13,56 МГц и мощностью излучения 800 Вт образцы нефтей нагревались до температуры 45 °С, охлаждались в холодильной установке до 10 °С, затем с шагом в 5 °С и фиксацией показаний вискозиметра нагревались до 60 °С в криотермостате.

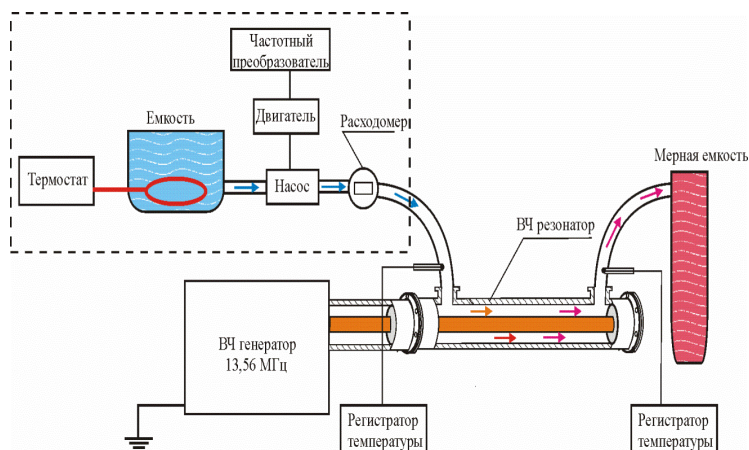


Рис. 1. Принципиальная схема высокочастотной электромагнитной установки (13,56 МГц)

Fig. 1. Schematic diagram of a high-frequency electromagnetic installation (13.56 MHz)

Для определения нетеплового эффекта от ВЧ ЭМ воздействия образцы не-обработанной нефти в объеме 500 мл прогревались в криотермостате WiseCirsu также до температуры 45 °С с последующим охлаждением в холодильной установке до 0 °С, затем подвергались нагреву с шагом в 5 °С до 65 °С и фиксацией показаний ротационного вискозиметра Brookfield DV II Pro.

Аналогичные исследования проводили для СВЧ области при частоте 2,4 ГГц.

На рис. 2 представлена принципиальная схема установки для обработки нефти СВЧ электромагнитным полем в поточном режиме.

В таблице 1 представлены некоторые основные свойства исследуемых нефтей.

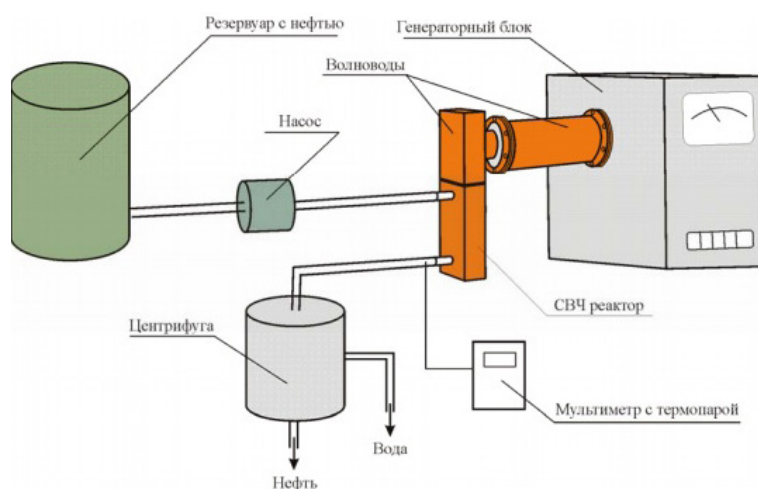


Рис. 2. Принципиальная схема сверхвысокочастотной электромагнитной установки (2,4 ГГц)

Fig. 2. Schematic diagram of a microwave electromagnetic installation (2.4 GHz)

Таблица 1

Свойства исследуемых нефтей

Table 1

Properties of the studied petroleum's

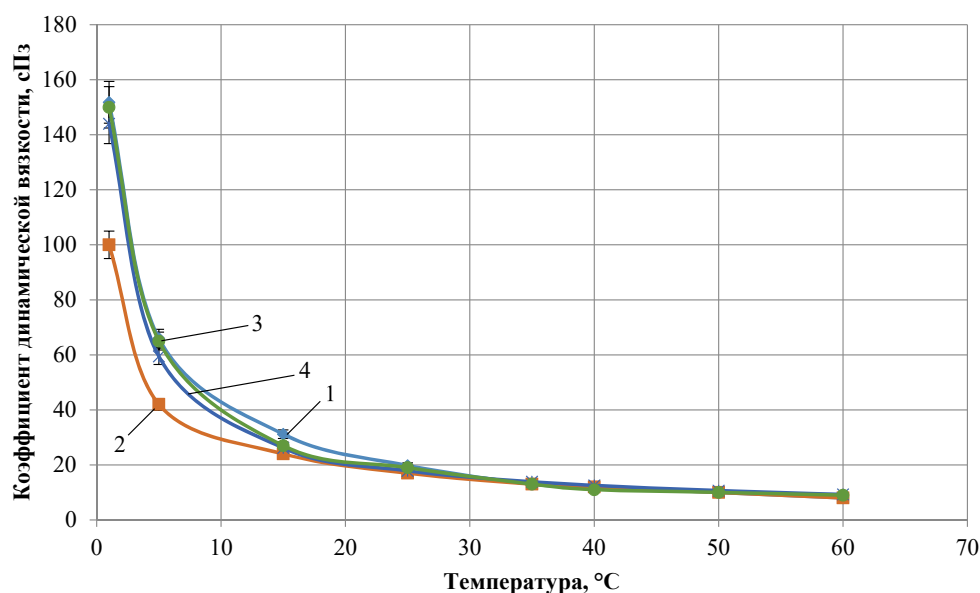
Наименование образца нефти	Содержание в нефти, % масс			
	асфальтенов	смола	парафинов	серы
Ярегская	17,33	26,41	0,9	1,23
Девонская	3,52	18,21	5,8	2,71

### Результаты исследований реологических свойств Ярегской и Девонской нефтей

Реологические кривые, полученные в результате ВЧ ЭМ, СВЧ ЭМ и теплового видов воздействия на Девонскую и Ярегскую нефти, представлены на рис. 3-6.

Из рис. 3 видно, что в результате ВЧ электромагнитной обработки Девонской нефти происходит уменьшение коэффициента динамической вязкости в интервале температур от 1 до 30 °С: он снижается практически на 40% в интервале температур от 0 до 10 °С (кривая 2 на рис. 3). После СВЧ обработки коэффициент динамической вязкости практически не меняется (кривая 3 на рис. 3); тепловая обработка (нагрев до 45 °С с последующим охлаждением) тоже показала свою незначительную эффективность, по эффекту схожа с СВЧ воздействием (кривая 4 на рис. 3). При температурах нефти более 30 °С эффективность различных видов обработки снижается (все кривые накладываются друг на друга), т. к. доминирующее влияние оказывает тепловое воздействие, при котором в веществе происходит хаотичное тепловое движение частиц.

В связи с тем, что для данного сорта нефти наиболее эффективным оказалось ВЧ ЭМ воздействие, нами были проведены дополнительные исследования, заключающиеся в определении времени релаксации. Исследования заключались в определении реологических свойств Девонской нефти после ВЧ ЭМ обработки



- ◆— 1 — Коэффициент динамической вязкости до обработки
- 2 — Коэффициент динамической вязкости после ВЧ ЭМ обработки
- 3 — Коэффициент динамической вязкости после СВЧ обработки
- \*— 4 — Коэффициент динамической вязкости после тепловой обработки

Рис. 3. Зависимость коэффициента динамической вязкости Девонской нефти от температуры при тепловом нагреве и после различных видов обработок

Fig. 3. Dependence of the coefficient of dynamic viscosity of Devonian petroleum on temperature during thermal heating and after various types of treatments

по прохождении 3 и 5 дней после обработки. Результаты исследований представлены на рис. 4.

Из рис. 4 видно, что сразу после ВЧ ЭМ обработки в диапазоне температур от 1 до 10 °С коэффициент динамической вязкости нефти снижается вдвое (кривая 2 на рис. 4); по прошествии 3 дней после обработки значения коэффициента динамической вязкости принимают промежуточное положение (кривая 3 на рис. 4); по прошествии 5 дней после обработки реологические свойства Девонской нефти восстанавливаются до первоначальных значений (кривая 4 на рис. 4).

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в интервале температур от 1 до 30 °С для Девонской нефти наибольшую эффективность оказывает ВЧ ЭМ обработка: данный вид обработки способен снизить вязкость Девонской нефти практически до 50%, имеет достаточно длительный период релаксации — 5 дней, а значит, может быть рекомендован для практического применения в улучшении реологических свойств данного сорта нефти.

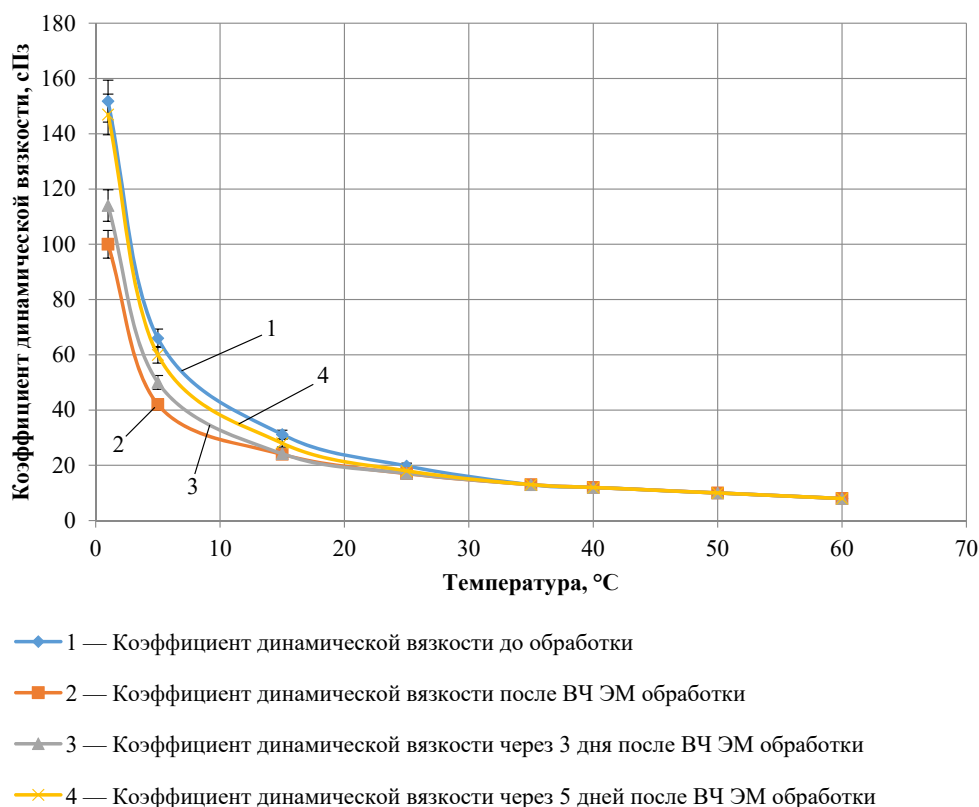


Рис. 4. Зависимость коэффициента динамической вязкости Девонской нефти от температуры после ВЧ ЭМ обработки от времени

Fig. 4. Dependence of the coefficient of dynamic viscosity of Devonian petroleum on temperature after HF EM treatment on time

Теперь рассмотрим результаты исследования различных видов воздействия на Ярегскую нефть (рис. 5).

Из рис. 5 видно, что в результате ВЧ электромагнитной обработки Ярегской нефти происходит уменьшение коэффициента динамической вязкости в интервале температур от 1 до 20 °С: он снижается практически на порядок — 60% (кривая 2 на рис. 5). После СВЧ обработки в этом же интервале температур коэффициент динамической вязкости снижается незначительно (кривая 3 на рис. 5). Тепловая обработка (нагрев до 45 °С с последующим охлаждением) (кривая 4 на рис. 5) показала результаты лучше СВЧ, но хуже ВЧ метода воздействия. При температурах нефти более 20 °С эффективность различных видов обработки снижается (кривые 1-4 на рис. 5 накладываются друг на друга), т. к. доминирующее влияние оказывает тепловое воздействие, при котором в веществе происходит хаотичное тепловое движение частиц. Разница между кривыми после теплового нагрева и ВЧ обработки (равная примерно 10% при температуре 10 °С) представляет собой так называемый нетепловой эффект от ВЧ ЭМ

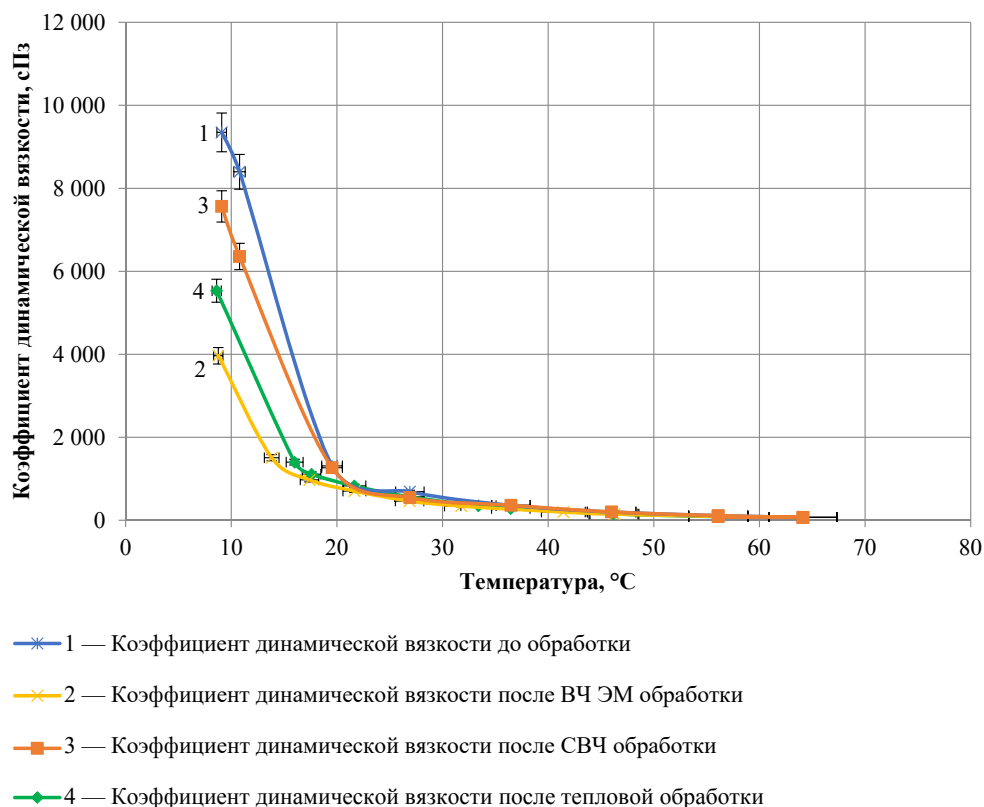


Рис. 5. Зависимость коэффициента динамической вязкости Ярегской нефти от температуры при тепловом нагреве и после различных видов обработок

Fig. 5. Dependence of the dynamic viscosity of Yarega petroleum on temperature during thermal heating and after various types of treatments



обработки, т. е. изменения в структуре нефти, связанные только с электромагнитными явлениями.

Также, как и в случае с Ярегской нефтью, наибольшую эффективность для Девонской нефти показала ВЧ ЭМ обработка.

Определим время релаксации для ВЧ ЭМ метода воздействия (рис. 6).

Из рис. 6 видно, что сразу после ВЧ ЭМ обработки в диапазоне температур от 1 до 10 °С коэффициент динамической вязкости нефти снижается более чем в 2 раза (кривая 2 на рис. 6); по прошествии 3 дней после обработки значения коэффициента динамической вязкости почти не меняются (кривая 3 на рис. 6); по прошествии 5 дней после обработки реологические свойства Ярегской нефти резко восстанавливаются до первоначальных значений (кривая 4 на рис. 6).

Итак, в интервале температур от 1 до 20 °С для Ярегской нефти наибольшую эффективность оказывает ВЧ ЭМ обработка, данный вид обработки способен снизить вязкость Ярегской нефти практически до 60%, имеет достаточно длительный период релаксации — 5 дней, а значит может быть рекомендован

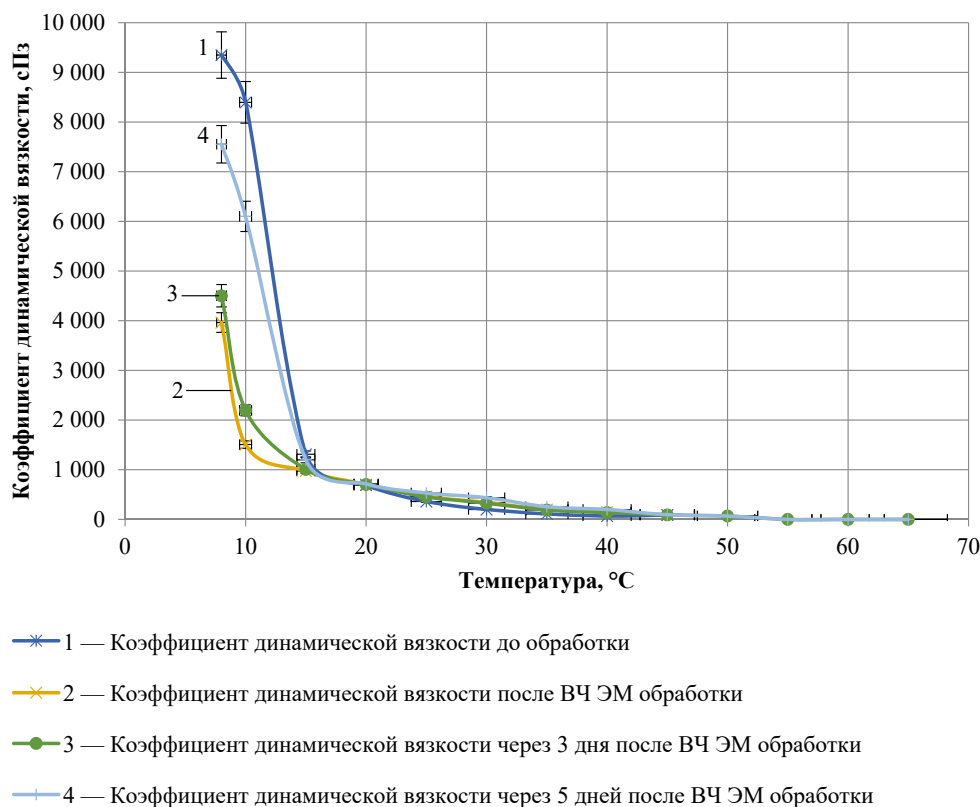


Рис. 6. Зависимость коэффициента динамической вязкости Ярегской нефти от температуры после ВЧ ЭМ обработки от времени

Fig. 6. Dependence of the coefficient of dynamic viscosity of Yarega petroleum on temperature after HF EM treatment on time

для практического применения в улучшении реологических свойств данного сорта нефти в качестве альтернативы применяемому в настоящее время тепловому воздействию и применению присадок [7, 11].

### **Объекты и методы исследований влияния ВЧ и СВЧ ЭМ обработок на величину отложений нефти на стенках трубопроводов**

Одна из исследуемых нефтей является парафиновой, а вторая — асфальтеновой (таблица 1), это значит, что при их транспортировке возникает проблема образования асфальтосмолопарафиновых отложений на внутренних стенках трубопровода [6, 9].

Для оценки влияния ВЧ и СВЧ ЭМ обработок на величину отложений нефти на стенках трубопроводов с помощью шприцевого насоса со скоростью, соответствующей скорости движения нефти в нефтепроводе, рассчитанной из теории подобия [2] с учетом диаметра используемых для прокачивания трубочек, была выполнена прокачка фиксированного объема нефтей до обработки и после по трубочкам с диаметрами 0,025 и 0,05 дюймов. После завершения процесса прокачивания предварительно взвешенные трубочки, освобожденные от нефти, подвергались повторному взвешиванию с целью определения массы остатка в них. Обернутые теплоизоляционным материалом шприцы с нефтью, предварительно охлажденной до 10 °С, были установлены на шприцевой насос; трубочки, по которым протекала нефть, были помещены в криотермостат WiseCirsu с температурой 10 °С (рис. 7).



*Рис. 7.* Схема установки для оценки влияния ВЧ и СВЧ ЭМ обработок на величину отложений нефти на стенках трубопроводов

*Fig. 7.* Installation diagram for assessing the effect of HF and SHF EM treatments on the amount of petroleum deposits on the walls of pipelines

### Результаты исследований влияния ВЧ и СВЧ ЭМ обработок на величину отложений нефти на стенках трубопроводов

Результаты проведенных исследований для Девонской и Ярегской нефтей представлены на рис. 8 и 9.

Согласно рис. 8, для Девонской нефти наибольшую эффективность показал ВЧ ЭМ метод воздействия: величина отложений внутри трубочки по сравнению с необработанным вариантом уменьшилась почти в 3 раза (ср. столбцы 1 и 4 с 2 и 5). С увеличением диаметра трубочки меньше становится и количество отложений, приходящихся на единицу длины трубочки.

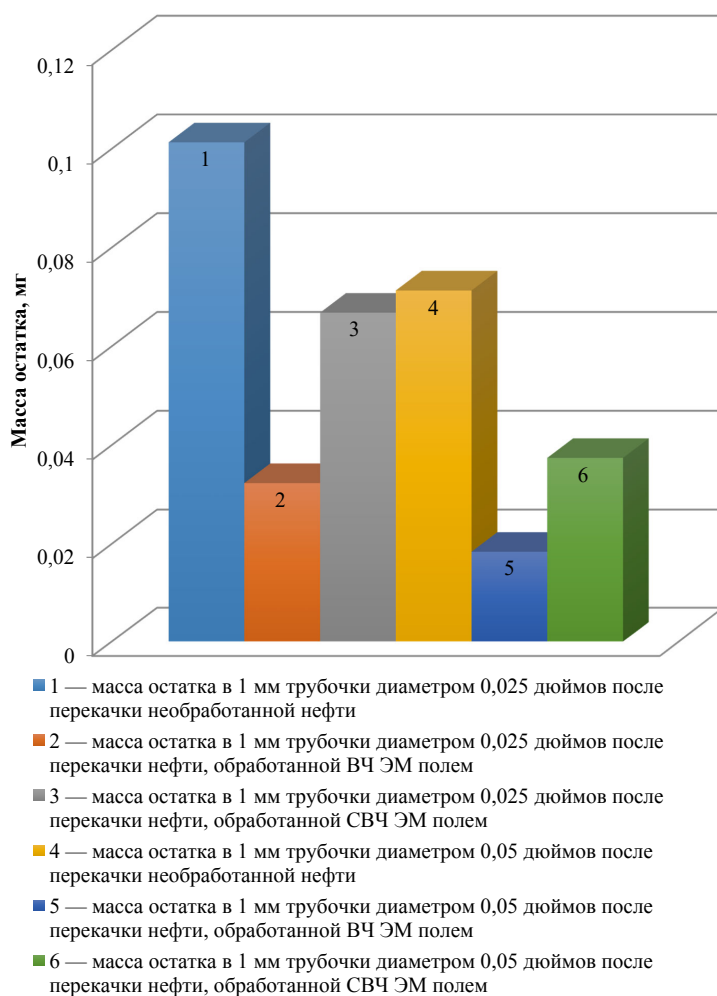


Рис. 8. Диаграмма зависимости массы остатка Девонской нефти в трубочках от метода воздействия на нефть и диаметра

Fig. 8. Diagram of the dependence of the mass of the remainder of Devonian petroleum in tubules on the method of impact on petroleum and diameter

Согласно рис. 9, для Ярегской нефти наибольшую эффективность тоже показал ВЧ ЭМ метод воздействия: величина отложений внутри трубочки по сравнению с необработанным вариантом уменьшилась почти в 6 раз (столбцы 1 и 4 соответствуют необработанной нефти, а 2 и 5 — ВЧ ЭМ обработке).

Поскольку экспериментальные исследования по оценке влияния ВЧ и СВЧ ЭМ обработок на величину отложений нефти в трубочках были выполнены на основании теории гидродинамического подобия, аналогичные картины распределения отложений АСПО будут наблюдаться и в практике промышленной эксплуатации магистральных нефтепроводов для перекачки Devonской и Ярегской нефтей.

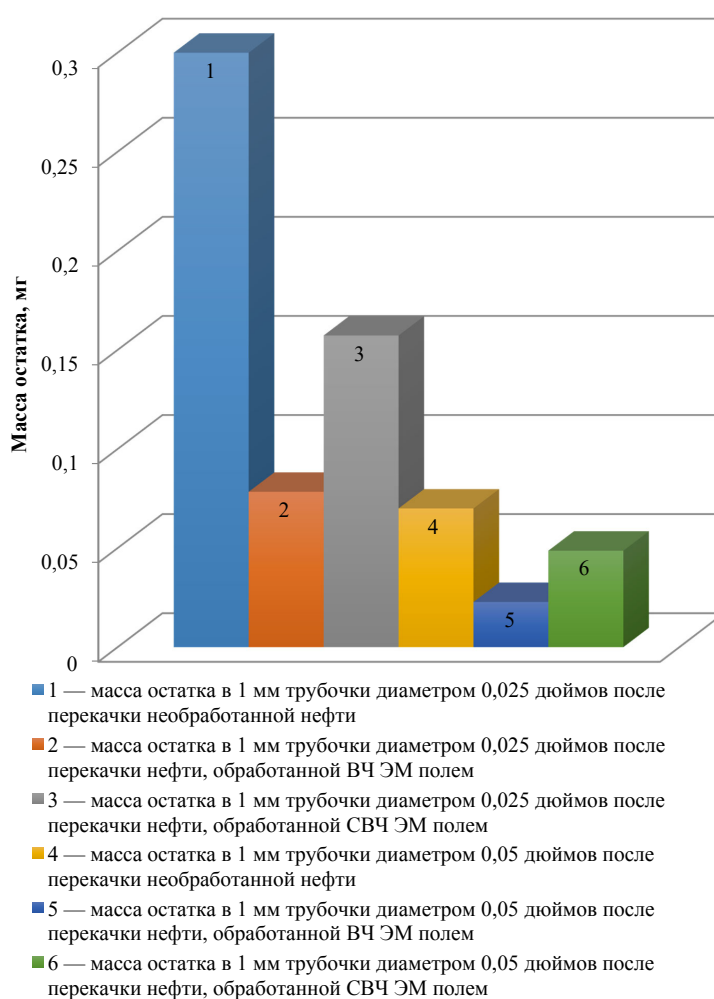


Рис. 9. Диаграмма зависимости массы остатка Ярегской нефти в трубочке от метода воздействия на нефть и диаметра

Fig. 9. Diagram of the dependence of the mass of the residue of Yarega petroleum in a pipe from the method of impact on petroleum and diameter

Итак, как высокочастотные, так и сверхвысокочастотные электромагнитные методы обработки способствуют уменьшению количества отложений АСПО на внутренней стенке нефтепровода и являются превентивным методом борьбы с АСПО, причем для тяжелой Ярегской нефти эффективность ВЧ воздействия в борьбе с отложениями АСПО значительно выше, чем для Девонской.

### **Заключение**

Рассмотренные в работе тепловой сверхвысокочастотный электромагнитный, высокочастотный электромагнитный методы воздействия на Девонскую и Ярегскую нефть показали следующее:

1. Электромагнитная обработка оказывает влияние на реологические свойства указанных нефтей.
2. Результаты теплового воздействия хуже по сравнению с результатами электромагнитного воздействия на величину так называемого нетеплового эффекта.
3. Для указанных нефтей наибольшую эффективность показал ЭМ ВЧ метод воздействия, причем в интервале температур, соответствующих температурам эксплуатации магистральных нефтепроводов (температурам на глубине залегания для неизотермических нефтепроводов).
4. При достижении температуры 30 °С и выше эффективность теплового и ЭМ методов воздействий сводится к нулю.
5. Время релаксации после ЭМ обработки обеих нефтей составляет 5 дней, что значительно. Для сравнения: при широко распространенной на сегодняшний день тепловой обработке нефти и перекачке по нефтепроводу без тепловой изоляции время релаксации составляет порядка нескольких часов.
6. Как высокочастотные, так и сверхвысокочастотные электромагнитные методы обработки способствуют уменьшению количества отложений АСПО на внутренней стенке нефтепровода.

Таким образом, ВЧ ЭМ обработка будет эффективна в процессах транспорта исследованных нефтей, т. к., в отличие от теплового метода воздействия и введения присадок, способствует увеличению производительности работы нефтепроводов на достаточно продолжительный период времени за счет улучшения реологических свойств нефти, также она способна стать достаточно эффективным превентивным способом борьбы с отложениями АСПО на внутренних стенках нефтепроводов.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Алиев Р. А. Трубопроводный транспорт нефти и газа / Р. А. Алиев, В. Д. Белоусов, А. Г. Немудров. М.: Недра, 1988. 250 с.
2. Вайншток С. М. Трубопроводный транспорт нефти: учеб. для студентов вузов. В 2 томах / С. М. Вайншток, В. В. Новоселов, А. Д. Прохоров, А. М. Шаммазов, Б. Н. Мастобаев и др. М.: Недра-Бизнесцентр, 2004. Том 2. 621 с.

3. Как рождается Urals. Нефть всех российских месторождений задействована в формировании сортов для внутреннего и внешнего рынков // Российская газета. Спецвыпуск № 159 (7917). URL: <https://rg.ru/2019/07/22/sorta-nefti-sformirovany-so-vseh-mestorozhdenij-rossii.html> (дата обращения: 18.12.2020).
4. Ковалева Л. А. Экспериментальные исследования нагрева реологически сложных жидкостей электромагнитным полем / Л. А. Ковалева, Р. Р. Зиннатуллин, А. И. Муллаянов, И. И. Шрубковский // Теплофизика высоких температур. 2016. Том 54. № 4. С. 645-647.
5. Кривошей Б. Л. Магистральный трубопроводный транспорт / Б. Л. Кривошей, П. И. Тугунов. М.: Наука, 1985. 238 с.
6. Мастобаев Б. Н. Нефтегазовое дело: учеб. пособие в 6 томах / Б. Н. Мастобаев, А. М. Нечваль. СПб.: Недра, 2013. Том 5. Транспорт и хранение нефти и газа / Б. Н. Мастобаев и др.; под ред. А. М. Шаммазова. 328 с.
7. Нечваль А. М. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов: учеб. пособие / А. М. Нечваль. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2001. 165 с.
8. Позиция РСПП «Россия на международных энергетических рынках: перспективы присутствия» // Российский союз промышленников и предпринимателей. URL: <https://www.rspp.ru/activity/position/pozitsiya-rspp-rossiya-na-mezhdunarodnykh-energeticheskikh-rynках-perspektivy-prisutstviya/> (дата обращения: 18.12.2020).
9. Рахманкулов Д. Л. Применение химических реагентов в области добычи и транспорта нефти / Д. Л. Рахманкулов, С. С. Злотский, В. И. Мархасин, О. В. Пешкин, В. Я. Щекотурова, Б. Н. Мастобаев. М.: Химия, 1987. 144 с.
10. РД 39-30-990-84. Методика расчета напорных характеристик и пересчета параметров центробежных насосов магистральных нефтепроводов при изменении частоты вращения и вязкости перекачиваемой жидкости. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293725/4293725937.pdf> (дата обращения: 18.12.2020).
11. Тугунов П. И. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов: учеб. пособие / П. И. Тугунов, В. Ф. Новоселов, А. А. Коршак, А. М. Шаммазов. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2002. 658 с.
12. Янчушка А. П. Применение теории подобия для моделирования процессов в нефтегазовом деле: учебно-метод. пособие / А. П. Янчушка, А. В. Колчин. Уфа: Уфим. гос. нефт. техн. ун-т, 2013.

**Liana A. KOVALEVA<sup>1</sup>**  
**Rasul R. ZINNATULLIN<sup>2</sup>**  
**Gulshat I. MUKHARYAMOVA<sup>3</sup>**

UDC 537.876.23

**RESEARCH ON THE INFLUENCE OF HIGH-FREQUENCY,  
SUPER-HIGH-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC  
AND THERMAL EFFECTS ON THE PROPERTIES  
OF YAREGSKAYA AND DEVONIAN PETROLEUM**

<sup>1</sup> Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of the Department of Applied Physics,  
Institute of Physics and Technology, Bashkir State University (Ufa)  
liana-kovaleva@yandex.ru

<sup>2</sup> Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Department of Applied Physics,  
Institute of Physics and Technology, Bashkir State University (Ufa)  
rasulz@yandex.ru

<sup>3</sup> Postgraduate Student, Department of Applied Physics,  
Institute of Physics and Technology, Bashkir State University (Ufa)  
gulshat-karimova-1993@mail.ru

**Abstract**

Petroleum produced in different regions and fields differ significantly in quality. The organization of pipeline transport of petroleum streams of a various quality produced in different geographic regions, according to a system with a complex topological structure, is possible only when controlling the quality of petroleum in traffic flows, in particular, controlling such property of petroleum as viscosity.

Petroleum viscosity has a decisive influence on the performance of pumping and power equipment. The characteristics of the main petroleum pipelines depend on content's viscosity. By influencing petroleum viscosity, it is possible to change the results of hydraulic calculations

---

**Citation:** Kovaleva L. A., Zinnatullin R. R., Mukharyamova G. I. 2021. "Research on the influence of high-frequency, super-high-frequency electromagnetic and thermal effects on the properties of Yaregskaya and Devonian petroleum". Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy, vol. 7, no. 4 (28), pp. 10-26.

DOI: 10.21684/2411-7978-2021-7-4-10-26

---

of main petroleum pipelines and pumping and power equipment without changing the equipment themselves, therefore, the task of changing the rheological characteristics of the pumped petroleum is timely.

In this work, for the first time, thermal, super-high-frequency electromagnetic (SHF EM), high-frequency electromagnetic (HF EM) methods of treating the Siberian Devonian commercial petroleum and commercial petroleum of the Timan-Pechora province — Yaregskaya are studied.

Both petroleum were exposed to thermal, high-frequency and super-high-frequency electromagnetic treatment on unique laboratory benches assembled at the Bashkir State University.

As a result of the carried out studies, it was discovered that electromagnetic treatment affects the rheological properties of these petroleum in the temperature range corresponding to the operating temperatures of main petroleum pipelines. The most effective was the EM HF method of exposure.

The relaxation time of the rheological properties of Devonian and Yaregskaya petroleum after EM treatment is 5 days, which is substantial compared to the currently popular thermal heating. The results of preliminary heat treatment with subsequent cooling on the Devonian and Yarega petroleum showed less efficiency compared to the results of electromagnetic treatment. When temperatures reach 30 degrees Celsius and above, the effectiveness of thermal and EM methods of exposure for both petroleum is reduced to zero.

Another problem that arises during the pipeline transport of Yaregskaya and Devonian petroleum is the formation of asphalt-resin-paraffin deposits (ARPD) on the inner walls of the pipeline, leading to the need for more frequent cleaning of the pipeline, higher energy consumption to ensure the specified productivity of the pipeline. EM processing has also become one of the methods for solving this problem. As a result of an experiment to determine the amount of deposits on the inner walls of petroleum pipelines without treatment and after EM exposure, it was revealed that HF EM treatment is a preventive method for combating ARPD for Yaregskaya and Devonian petroleum. For Yaregskaya petroleum treated with HF EM field, the ARPD value on the walls of the model pipeline was 6 times less than for untreated Yaregskaya petroleum.

Thus, as a result of all the work carried out within the framework of the study, it was found that high-frequency and super-high-frequency electromagnetic processing methods are effective in the transport of Yaregskaya and Devonian petroleum, and, unlike the thermal method of exposure and the introduction of additives, they contribute to an increase in the productivity of petroleum pipelines by improving the rheological properties of petroleum for a significantly long period of time, as well as to a reduction in formation of ARPD on the inner walls.

### **Keywords**

Rheological properties, electromagnetic treatment, super-high-frequency electromagnetic treatment, high-frequency electromagnetic treatment, heat treatment, Yaregskaya petroleum, Devonian petroleum, dynamic viscosity, relaxation time, asphalt-resin-paraffin deposits (ARPD).

**DOI: 10.21684/2411-7978-2021-7-4-10-26**



**REFERENCES**

1. Aliev R. A., Belousov V. D., Nemudrov A. G. 1988. Pipeline Transport of Petroleum and Gas. Moscow: Nedra. 250 p. [In Russian]
2. Vainshtok S. M., Novoselov V. V., Prokhorov A. D., Shammazov A. M., Mastobaev B. N. 2004. Pipeline Transport of Petroleum: Textbook. In 2 volumes. Vol. 2. Moscow: Nedra-BusinessCenter. 621 p. [In Russian]
3. Rossiyskaya Gazeta — Special Issue No. 159 (7917). 2019. “How Urals is born. Petroleum from all Russian fields is involved in the formation of grades for the domestic and foreign markets”. Accessed 18 December 2020. <https://rg.ru/2019/07/22/sorta-nefti-sformirovany-so-vseh-mestorozhdenij-rossii.html> [In Russian]
4. Kovaleva L. A., Zinnatullin R. R., Mullayanov A. I., Shrubkovsky I. I. 2016. “Experimental studies of heating rheologically complex liquids by an electromagnetic field”. Thermophysics of High Temperatures, vol. 54, no. 4, pp. 645-647. [In Russian]
5. Krivoshey B. L., Tugunov P. I. 1985. Main Pipeline Transport. Moscow: Nauka. 238 p. [In Russian]
6. Mastobaev B. N., Nechval A. M. 2013. “Transport and storage of petroleum and gas”. Petroleum and Gas Business: Tutorial in 6 Volumes. Edited by A. M. Shammazov. Vol. 5. Saint Petersburg: Nedra. 328 p. [In Russian]
7. Nechval A. M. 2001. Design and Operation of Gas and Petroleum Pipelines: Tutorial. Ufa: DesignPoligrafService. 165 p. [In Russian]
8. Russian Union of Industrialists and Entrepreneurs. 2010. “The position of the Russian Union of Industrialists and Entrepreneurs ‘Russia in the international energy markets: prospects of presence’” Accessed 20 October 2021. <https://www.rspp.ru/activity/position/pozitsiya-rspp-rossiya-na-mezhdunarodnykh-energeticheskikh-rynkakh-perspektivy-prisutstviya/> [In Russian]
9. Rakhmankulov D. L., Zlotsky S. S., Markhasin V. I., Peshkin O. V., Shchekoturova V. Ya., Mastobaev B. N. 1987. Application of Chemical Reagents in the Field of Petroleum Production and Transportation. Moscow: Chemistry. 144 p. [In Russian]
10. RD 39-30-990-84. 1984. Methodology for Calculating Pressure Characteristics and Recalculating the Parameters of Centrifugal Pumps of Main Petroleum Pipelines when Changing the Speed and Viscosity of the Pumped Liquid. Accessed 20 October 2021. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293725/4293725937.pdf> [In Russian]
11. Tugunov P. I., Novoselov V. F., Korshak A. A., Shammazov A. M. 2002. Typical Calculations in the Design and Operation of Tank Farms and Petroleum Pipelines: Tutorial. Ufa: DesignPoligrafService. 658 p. [In Russian]
12. Yanchushka A. P., Kolchin A. V. 2013. Application of the Theory of Similarity for Modeling Processes in the Petroleum and Gas Business: Tutorial. Ufa: USPTU. [In Russian]