

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА НЕФТЬ МАРКИ ESPO

Э. Т. Гасымов, В. В. Слесаренко

*ФГБУН «Институт химии Дальневосточного отделения
Российской академии наук», Владивосток, Россия*

Ключевые слова: воздействие; добыча; магнитное поле; нефть; обработка; плотность; транспортировка; углеводороды; экологический фактор.

Аннотация: Исследованы особенности изменения свойств нефти после воздействия магнитного поля при экологически безопасных условиях. Исследования выполнены с нефтью трех классов марки ESPO: 1 – малосернистая (до 0,6 %); 2 – сернистая (0,61 – 1,8 %); 3 – высокосернистая (1,8 – 3,5 %). Рассмотрен механизм воздействия магнитного поля, не влияющего на температуру сырой нефти без образования вредных веществ. Дана оценка эффективности и экологической безопасности применения магнитного воздействия для обработки нефти при различных значениях плотности и времени обработки. Представлены результаты экспериментов при воздействии магнитного поля на нефть, приведены результаты изменения плотности нефти в процентном соотношении.

Введение

Месторождения легкой нефти в России в значительной степени освоены, при этом уровень остаточных запасов сырья последние годы резко снижается. Ведется целенаправленная работа по вовлечению в разработку залежей, характеризующихся такими особенностями, как повышенная вязкость и плотность нефти, наличие большого количества асфальто- и смолопарафиновых примесей.

Использование тяжелой нефти ограничено сложностью процессов добычи и транспортировки нефти, особенностями эксплуатации нефтяных месторождений. Высоковязкие эмульсии снижают эффективность разработки нефтяных месторождений, что часто связано с необходимостью применения затратных методов модернизации оборудования и проведения

Гасымов Эльшан Тарланович – ведущий инженер-технолог инженерно-технологического центра, e-mail: gasymov-1998@list.ru; Слесаренко Вячеслав Владимирович – доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник инженерно-технологического центра, ФГБУН «Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук», Владивосток, Россия.

очистных работ. Среди наиболее известных методов, обеспечивающих снижение влияния вредных факторов на процессы добычи и транспортировки нефти, можно выделить следующие:

- способствующие предотвращению образования вредных примесей;
- оказывающие разрушительное воздействие на асфальто- и смолопарафиновые примеси.

Защита от образования высоковязких эмульсий проводится в основном путем нагрева добытой нефти. Кроме этого, предусмотрено разбавление вязкой среды маловязкой нефтью. Значительный положительный эффект достигается за счет внесения деэмульгаторов, а также растворителей с органическим составом. На основе анализа имеющихся данных [1 – 4] подтверждено, что если высоковязкие эмульсии уже образованы, то необходимо проводить подогрев продукта, внося в него определенное количество деэмульгаторов.

В качестве альтернативного метода, который позволяет снизить влияние высоковязких эмульсий на качество нефти, выступает технология, предусматривающая обработку среды энергосиловыми полями: электромагнитным или магнитным полем, СВЧ, ультразвуком.

Противодействие возникновению асфальто- и смолопарафиновых отложений при транспортировке нефти осуществляется с помощью известных методов:

- механических, предусматривающих использование скребков;
- тепловых, когда применяют горячий агент для растворения отложений;
- химических, с применением растворителей или ингибиторов;
- физических, основанных на использовании энергетических полей.

Постановка задачи

Результаты научных исследований [5 – 8] свидетельствуют о том, что эффективность нефтедобычи и транспортировки значительно повышается при использовании технологий, основанных на применении энергетических полей. Имеющиеся технологии позволяют противодействовать образованию в нефти асфальто- и смолопарафиновых отложений и высоковязких эмульсий. Ценность и значимость данных методов проявляется в том, что затраты при их реализации могут быть оптимизированы, технологии экологически безопасны.

Физические методы снижают дополнительные энергетические затраты, обычно требующиеся для того, чтобы изменить химическую структуру нефти. В частности, на обрабатываемую среду можно воздействовать магнитными полями, изменяющими реологические свойства нефти (включая вязкость и плотность). Метод магнитной обработки технологически прост и экологически безопасен. В ходе его использования поток жидкости направляется через соленоид, питаемый электрическим током. Исходя из имеющихся данных [1 – 4, 9], метод успешно применялся в разных отраслях и доказал свою эффективность, благодаря простой конструкции устройств для магнитной обработки жидкости (магнитоактиваторов). Однако данных по изменению свойств нефти после магнитной обработки имеется недостаточно.

Цель работы – оценка эффективности магнитного воздействия на свойства нефти.

Результаты исследования

В экспериментальной части работы рассмотрено влияние магнитного воздействия на нефть трех классов марки ESPO (табл. 1) при температуре 15, 20, 25 и 30 °С.

Экспериментальная часть выполнялась по следующей схеме: в емкость заливали нефть определенного типа, магнитные пластины устанавливались с четырех сторон емкости (рис. 1). Максимальное значение магнитной индукции составляло 831...858 Гс, напряженность магнитного поля – порядка 83...86 мТл. Длительность воздействия во всех экспериментах равнялась 48 ч. Установлено, что при более длительном времени обработки свойства нефти не изменялись.

Измерения плотности нефти проводились ареометром АН (по ГОСТ 18481 выдает результаты до +80 °С, класс точности 0,25). Установлено, что при воздействии магнитного поля плотность углеводородов снижается (табл. 2). Наиболее значительное изменение плотности наблюдается у нефти 1 класса – до 0,54 % при температуре среды 30 °С (рис. 2). Подтверждено, что значительное влияние на процесс оказывает температурный фактор.

Рассчитано относительное изменение плотности на каждом этапе воздействия магнитного поля в процентном соотношении

$$\delta\rho = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0} \cdot 100\% .$$

Таблица 1

Исходные данные характеристик нефти марки ESPO-2

Показатель качества	Норматив (по ГОСТ Р 51858 «Нефть. Общие технические условия»)		
	Класс 1 – малосернистая до 0,6 вкл.	Класс 2 – сернистая 0,61 – 1,8 вкл.	Класс 3 – высокосернистая 1,8 – 3,5 вкл.
Массовая доля серы, %			
Испытуемая нефть плотностью при 20 °С, кг/см ³	Тип 0 Особая легкая 827,2	Тип 1 Легкая 842,7	Тип 2 Средняя 870
Массовая доля пара- фина, %	Не более 6		
Массовая доля меха- нических примесей, %	Не более 0,05		
Вязкость нефти, сСт (сантистокс) при 20 °С, мм ² /с	432	593	848,6

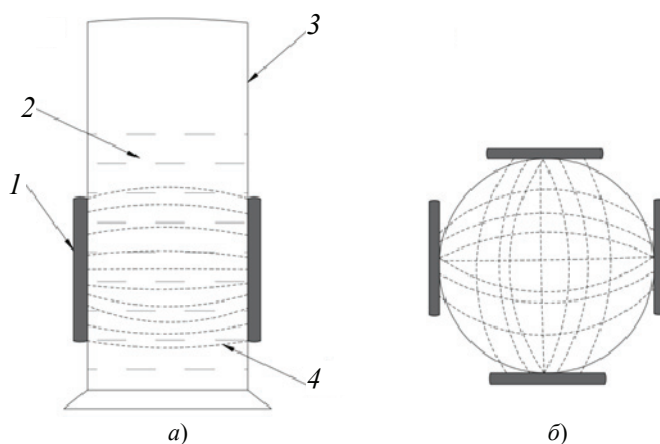


Рис. 1. Магнитное воздействие на нефть:
а – вид сбоку; *б* – вид сверху; *1* – магнитные активаторы; *2* – нефть;
3 – емкость с нефтью; *4* – зона магнитного воздействия

Таблица 2

Изменение плотности нефти при магнитном воздействии

Температура продукта, °С	Испытуемая нефть плотностью, кг/см ³	Относительное изменение плотности, %	Тип/Класс нефти
1	2	3	4
15 °С	830,9	0,156	Тип 0 Особая легкая Класс 1 – малосернистая до 0,6 вкл.
Магнитное воздействие при 15 °С	829,6		
20 °С	827,2	0,253	
Магнитное воздействие при 20 °С	825,1		
25 °С	823,5	0,328	
Магнитное воздействие при 25 °С	820,8		
30 °С	819,8	0,537	
Магнитное воздействие при 30 °С	815,4		
15 °С	845,7	0,153	Тип 1 Легкая Класс 2 – сернистая 0,61 – 1,8 вкл.
Магнитное воздействие при 15 °С	844,4		
20 °С	842,1	0,237	
Магнитное воздействие при 20 °С	840,1		
25 °С	838,5	0,286	
Магнитное воздействие при 25 °С	836,1		

1	2	3	4
30 °С	834,8	0,372	Тип 2 Средняя Класс 3 – высокосернистая 1,8 – 3,5 вкл.
Магнитное воздействие при 30 °С	831,7		
15 °С	873,5	0,183	
Магнитное воздействие при 15°С	871,9		
20 °С	870	0,242	
Магнитное воздействие при 20 °С	867,9		
25 °С	866,5	0,243	
Магнитное воздействие при 25 °С	864,4		
30 °С	862,9	0,267	
Магнитное воздействие при 30 °С	860,6		

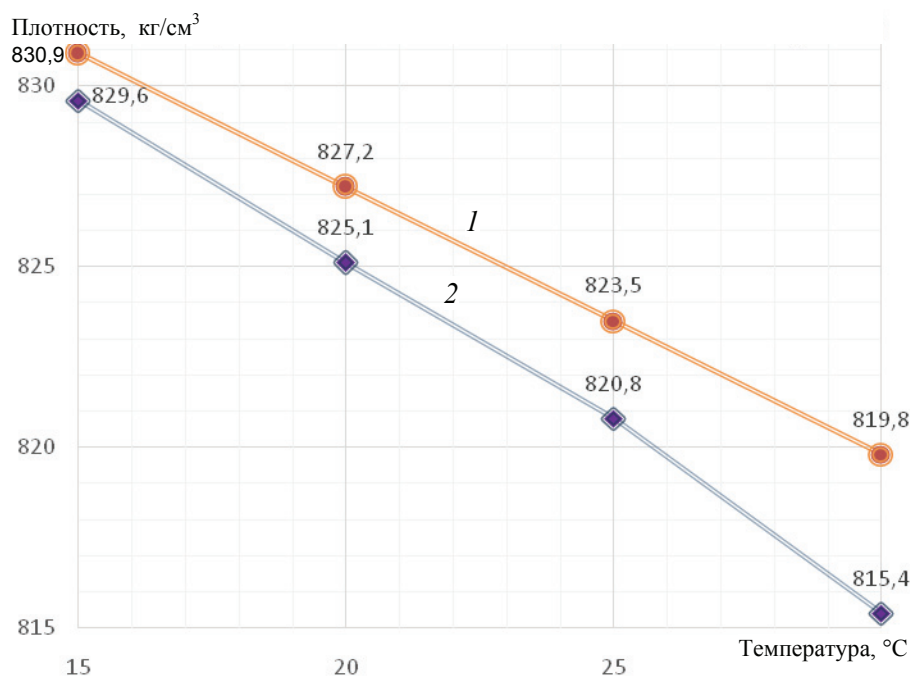


Рис. 2. Изменение плотности особо легкой нефти (температура продукта 15, 20, 25 и 30 °С) при магнитной обработке:
 1 – нефть класса 1; 2 – плотность нефти при магнитном воздействии

Отмечены определенные успехи в экологической сфере, связанные с использованием магнитной обработки для оптимизации процессов добычи, транспортировки и хранения высоковязкой нефти. В то же время ощущается недостаток теоретического обоснования, оценивающего порядок структурных и энергетических превращений в нефти на микро- и макроуровнях, обусловленных образованием при добыче и транспортировке нефти высоковязких эмульсий, асфальто- и смолопарафиновых отложений.

Известны гипотезы, в которых дается теоретическая оценка влияния метода магнитной обработки на жидкие среды, в том числе:

- коллоидная теория, основанная на воздействии магнитного поля разной мощности на коллоидные частицы;
- ионная теория, в которой определяющий эффект создают ионы, присутствующие в жидкой среде;
- водная теория, оценивающая воздействие магнитного поля на примеси, растворенные в эмульсии.

Воздействие на нефть при ее подготовке после добычи в основном осуществляется по электродной схеме. Экспериментально подтверждено, что воздействие электрическим полем минимально влияет на температуру сырой нефти [2 – 4]. Полученные результаты также указывают на наличие краткосрочного эффекта от применения метода электрической обработки нефти: снижение плотности наблюдается в течение 1 – 3 ч. Для того чтобы эффект продлевался, требуется повторно осуществлять воздействие указанным методом. Практические данные свидетельствуют о том, что сырая нефть всегда содержит воду в своем составе. Вследствие этого при электродной обработке среды возможно возникновение электрических разрядов [3, 4].

Метод обработки с использованием магнитных полей обладает большей безопасностью, так как его применение не приводит к возникновению опасных электрических разрядов.

Исходя из имеющихся теоретических выводов [9, 10], действие магнитного поля на растворы сводится к изменению связей микропримесей с молекулами жидкой среды. Такие «водные» теории получили достаточно большую известность при оценке воздействия магнитного поля на физико-химические свойства нефтяных и водонефтяных жидких сред. Они основаны на разрушении в магнитном поле агрегатов железосодержащих частиц.

Однако, исходя из экспериментальных данных, отводить микропримесям железа, являющимся одной из разновидностей минерального состава примесей в нефти, единственную и определяющую роль в процессах, протекающих в жидкости при магнитном воздействии, нет достаточных оснований.

Заключение

Воздействие магнитным полем приводит к снижению плотности нефти, при этом на процесс влияет концентрация в нефти тяжелых углеводородов. При повышении температуры среды эффект понижения плотности проявляется более существенно. Поэтому целесообразно совмещение магнитной обработки с предварительным нагревом тяжелой нефти в специ-

альных установках. Воздействие магнитным полем изменяет реологические свойства тяжелой нефти, что позволяет снизить затраты при ее добыче и транспортировке. С точки зрения экологической оценки процесса, магнитная обработка нефти является безопасной.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН «Институт химии ДВО РАН», тема № FWFN(0205)-2025-0002.

Список литературы

1. Crude Oil Emulsion Properties and Their Application to Heavy Oil Transportation / D. Langevin, S. Poteau, I. Hénaut, J.-F. Argillier // *Oil & Gas Science and Technology – Revue de l'IFP*. – 2004. – Vol. 59, No. 59. – P. 511 – 521. doi: 10.2516/ogst:2004036
2. Tao, R. Reducing Viscosity of Paraffin Base Crude Oil with Electric Field for Oil Production and Transportation / R. Tao, H. Tang // *Fuel*. – 2014. – Vol. 118. – P. 69 – 72. doi: 10.1016/j.fuel.2013.10.056
3. Electric Field Suppressed Turbulence and Reduced Viscosity of Asphaltene Base Crude Oil Sample / E. Du, Q. Zhao, Y. Xiao, L. Cai // *Fuel*. – 2018. – Vol. 220. – P. 358 – 362. doi: 10.1016/j.fuel.2018.01.098
4. Reducing the Viscosity of Diesel Fuel with Electrorheological Effect / E. Du, H. Tang, K. Huang, R. Tao // *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*. – 2011. – Vol. 22, No. 15. – P. 1713 – 1716. doi: 10.1177/1045389X11421819
5. Исследование растворимости АСПО нефтяных резервуаров в технических растворителях / Л. С. Баталина, В. А. Сафин, А. А. Вишуренко, Ф. А. Бурюкин, Р. А. Ваганов // *Современные наукоемкие технологии*. – 2019. – № 3. – С. 125 – 129.
6. Состав, свойства, структура и фракции асфальтенов нефтяных дисперсных систем / Г. А. Налимова, Т. Н. Юсупова, Д. А. Ибрагимова, И. Р. Якупов // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2015. – Т. 18, № 20. – С. 60 – 64.
7. Гасымов, Э. Т. Комбинированный метод ультразвукового и электромагнитного воздействия на высоковязкую нефть / Э. Т. Гасымов, В. В. Слесаренко // *Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья*. – 2024. – № 1-2. – С. 70 – 76.
8. Кудинов, В. И. Тепловые технологии разработки сложнопостроенных месторождений вязких и высоковязких нефтей / В. И. Кудинов // *Георесурсы*. – 2009. – № 2(30). – С. 16 – 20.
9. Лоскутова, Ю. В. Влияние магнитного поля на реологические свойства нефтей : дис. ... канд. хим. наук : 02.00.13 / Ю. В. Лоскутова. – Томск, 2003. – 138 с.
10. Борсуцкий, З. Р. Исследования механизма магнитной обработки нефтей на основе результатов лабораторных и промысловых испытаний / З. Р. Борсуцкий, С. Е. Ильясов // *Нефтепромысловое дело*. – 2002. – № 9. – С. 38 – 44.

References

1. Langevin D., Poteau S., Hénaut I., Argillier J.-F. Crude Oil Emulsion Properties and Their Application to Heavy Oil Transportation, *Oil & Gas Science and Technology – Revue de l'IFP*, 2004, vol. 59, no. 59, pp. 511-521. doi: 10.2516/ogst:2004036
2. Tao R., Tang H. Reducing Viscosity of Paraffin Base Crude Oil with Electric Field for Oil Production and Transportation, *Fuel*, 2014, vol. 118, pp. 69-72. doi: 10.1016/j.fuel.2013.10.056

3. Du E., Zhao Q., Xiao Y., Cai L. Electric Field Suppressed Turbulence and Reduced Viscosity of Asphaltene Base Crude Oil Sample, *Fuel*, 2018, vol. 220, pp. 358-362. doi: 10.1016/j.fuel.2018.01.098
4. E. Du, Tang H. , Huang K., Tao R. Reducing the Viscosity of Diesel Fuel with Electrorheological Effect, *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 2011, vol. 22, no. 15, pp. 1713-1716. doi: 10.1177/1045389X11421819
5. Batalina L.S., Safin V.A., Vishchurenko A.A., Buryukin F.A., Vaganov R.A. [Study of the solubility of ASPD from oil reservoirs in technical solvents], *Sovremennyye naukoemkiye tekhnologii* [Modern science-intensive technologies], 2019, no. 3, pp. 125-129. (In Russ., abstract in Eng.)
6. Nalimova G.A., Yusupova T.N., Ibragimova D.A., Yakupov I.R. [Composition, properties, structure and fractions of asphaltenes of oil dispersed systems], *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kazan Technological University], 2015, vol. 18, no. 20, pp. 60-64. (In Russ., abstract in Eng.)
7. Gasymov E.T., Slesarenko V.V. [Combined method of ultrasonic and electromagnetic action on high-viscosity oil], *Transport i khraneniye nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya* [Transport and storage of oil products and hydrocarbon raw materials], 2024, no. 1-2, pp. 70-76. (In Russ., abstract in Eng.)
8. Kudinov V.I. [Thermal technologies for the development of complex deposits of viscous and high-viscosity oils], *Georesursy* [Georesources], 2009, no. 2(30), pp. 16-20. (In Russ., abstract in Eng.)
9. Loskutova Yu.V. *PhD of Candidate's thesis (Chemical)*, Tomsk, 2003, 138 p. (In Russ.)
10. Borsutskiy Z.R., Il'yasov S.Ye. [Research of the mechanism of magnetic treatment of oils based on the results of laboratory and field tests], *Neftepromyslovoye delo* [Oil field business], 2002, no. 9, pp. 38-44. (In Russ., abstract in Eng.)

Ecological Experiment with the Impact of a Magnetic Field on ESPO Oil

E. T. Gasymov, V. V. Slesarenko

Institute of Chemistry of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

Keywords: impact; production; magnetic field; oil; processing; density; transportation; hydrocarbons; environmental factor.

Abstract: The features of changes in the properties of oil after exposure to a magnetic field under environmentally safe conditions are studied. The studies were carried out with three classes of ESPO oil: 1 – low-sulfur (up to 0.6 %); 2 – sulfur (0.61 – 1.8 %); 3 – high-sulfur (1.8 – 3.5 %). The mechanism of the effect of a magnetic field that does not affect the temperature of crude oil without the formation of harmful substances is considered. The efficiency and environmental safety of using magnetic impact for oil processing at different values of density and processing time are assessed. The results of experiments with the impact of a magnetic field on oil are presented, and the results of changing the density of oil are given in percentage terms.

© Э. Т. Гасымов, В. В. Слесаренко, 2025