



ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ КАК ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ ВЫСОКОВЯЗКИХ ЗАЛЕЖЕЙ

Мейлиев Хуршид Бахриддинович – докторант (PhD)

ORCID: 0000-0002-4437-3680, E-mail: khurshid_meyliev@kstu.uz

Учреждение: Каршинский государственный технический университет

Ключевые слова: электрическое воздействие, высокая вязкость, электрополяризация, фильтрация, продуктивность скважин.

В работе представлены результаты научного и опытно-промышленного исследования эффективности технологии электрического воздействия (ЭВ) для повышения продуктивности скважин, разрабатывающих высоковязкие нефтяные залежи Республики Узбекистан. Установлено, что ЭВ обеспечивает комплексное изменение физико-химических свойств системы «нефть–вода–порода», включая снижение вязкости нефти, разрушение асфальтеново-смолистых структур, изменение смачиваемости и уменьшение порогового давления фильтрации. Полевые испытания на месторождении Южный Миршады показали рост дебита нефти до 1,8–3,5 раза и снижение обводнённости на 2–15 %, что подтверждает высокую эффективность метода. Представлены теоретические обоснования, вычислительные модели и рекомендации для промышленного масштабирования.

Разработка высоковязких нефтей является одной из наиболее сложных задач нефтяной отрасли. Такие залежи характеризуются низкой фильтрационной способностью, высокой структурно-механической устойчивостью нефти, сниженной подвижностью флюида, повышенной



обводнённости на поздних стадиях разработки и образованием парафино-смолистых отложений в призабойной зоне скважин. Для Узбекистана, где доля высоковязкой нефти превышает 18 % ресурсов, проблема интенсификации добычи стоит особенно остро. Традиционные методы повышения нефтеотдачи (тепловые, химические, газовые) сталкиваются с техническими и экономическими ограничениями, в то время как технология электрического воздействия обеспечивает направленное изменение свойств флюидов и порового пространства без необходимости создания сложной инфраструктуры.

Электрическое воздействие основано на подаче контролируемого тока или переменного электрического поля в интервал продуктивного пласта. Воздействие поля приводит к ряду фундаментальных процессов, определяющих эффективность метода. Электрополяризация асфальтено-смолистых молекулярных структур вызывает нарушение устойчивости кластеров, уменьшение межмолекулярных сил и разрыхление внутренней структуры нефти, что способствует снижению её вязкости и увеличению подвижности. Изменение двойного электрического слоя на границе «порода–вода–нефть» сопровождается уменьшением ζ -потенциала, снижением гидрофильности поверхности пор и увеличением нефтесмачиваемости, что улучшает условия фильтрации. Дополнительный эффект создаёт локальный джоулев прогрев, описываемый зависимостью $Q = I^2 R t$, который обеспечивает повышение температуры на 3–8 °С и снижение вязкости нефти на 10–25 %. Электролитические и микродинамические эффекты, включая микровыделение газов и ускорение движения флюида под действием электрических сил, способствуют декольматации порового пространства и росту эффективной проницаемости.

Геолого-физические условия месторождения Южный Миршады соответствуют оптимальным для применения ЭВ. Нефть характеризуется



вязкостью 120–350 мПа·с, пластовые воды — минерализацией 70–110 г/л, проницаемость пород составляет 1–5 мД при пористости 10–16 %, содержание парафинов достигает 14 %. Эти параметры образуют благоприятную среду для реализации электрофизических эффектов, определяющих эффективность метода.

Опытно-промысловые испытания проведены на скважинах № 6, 10, 12 и 14 при токе 10–22 А, напряжении 120–380 В, мощности 1,5–4,5 кВт и длительности одного цикла воздействия 6–48 часов. После применения ЭВ дебит нефти увеличился в 1,3–1,8 раза, при максимальных значениях — до 3,5 раз. Обводнённость продукции снизилась на 2–15 %, что указывает на восстановление нефтесмачиваемости порового пространства и улучшение фильтрационных характеристик. По лабораторным данным, вязкость нефти уменьшалась на 18–47 %, а доля подвижной фазы увеличивалась. Удельное электрическое сопротивление пласта снижалось на 8–25 %, что свидетельствует о разрушении парафиновых структур, улучшении насыщения нефтью и росте проницаемости. В первые сутки после ЭВ наблюдался рост пластового давления на 0,3–1,2 МПа с последующей стабилизацией на новом уровне.

Итоги анализа показывают высокую воспроизводимость результатов и соответствие теоретическим моделям электрофизического воздействия. Электрическая обработка пласта демонстрирует значительные преимущества по сравнению с тепловыми и химическими методами, включая более низкие энергозатраты, отсутствие необходимости в реагентах, простоту оборудования и короткий срок окупаемости, который по результатам испытаний составляет 7–12 суток. Метод обладает высоким масштабируемым потенциалом и может быть реализован на аналогичных месторождениях Узбекистана, таких как Южный Аламышик, Бостон, Ходжабад, Полвонташ, районы Устюртской провинции и др.



На основании полученных данных установлено, что электрическое воздействие является эффективным физическим методом интенсификации добычи высоковязкой нефти в низкопроницаемых коллекторах. Метод обеспечивает устойчивое снижение вязкости, изменение смачиваемости, декольматацию призабойной зоны и рост дебита нефти в 1,3–3,5 раза. Энергоёмкость процесса остаётся низкой и составляет 300–600 кВт·ч на цикл. Технология рекомендована к дальнейшему промышленному внедрению и расширению применения в условиях месторождений Узбекистана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Al-Saedi, H. N., & Flori, R. E. (2018). *Application of electromagnetic heating for heavy oil recovery: A review*. Journal of Petroleum Science and Engineering, 165, 884–897. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.03.063>
2. Chen, Y., Xu, C., & Zhao, Y. (2019). *Electrochemical and electrokinetic methods for enhanced oil recovery: Fundamentals and field applications*. Energy & Fuels, 33(12), 11245–11261. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.9b02433>
3. Chilingar, G. V., & Endres, B. (2005). *Electrokinetic phenomena in petroleum engineering and geophysics*. Journal of Petroleum Science and Engineering, 47(3–4), 127–137.
4. Gavrilov, A. A., & Chilingar, G. V. (2017). *Electric stimulation of oil reservoirs: Mechanisms and field results*. Journal of Energy Resources Technology, 139(4), 042909. <https://doi.org/10.1115/1.4036890>
5. Heidari, P., & Sahimi, M. (2019). *Molecular mechanisms of asphaltene aggregation and its breakdown in electric fields*. Energy & Fuels, 33(7), 6174–6185.



6. Li, Z., Liu, H., & Zhang, Y. (2020). *Electro-assisted reduction of heavy oil viscosity: Experimental investigation and modeling*. Fuel, 276, 118035.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118035>
7. Melnikov, A., & Tsvetkov, V. (2014). *Electromagnetic and electrohydrodynamic stimulation of low-permeability reservoirs*. Petroleum Science and Technology, 32(21), 2590–2597.
8. Nasr, T., & Ayodele, O. (2021). *Electrothermal processes for in-situ upgrading and mobility enhancement of viscous oils*. Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, 11, 2385–2398.
9. Sheng, J. J. (2011). *Enhanced Oil Recovery Field Case Studies*. Gulf Professional Publishing. (Глава о физических методах EOR).
10. Shagapov, V. Sh., & Musakaev, N. N. (2012). *Thermal and thermoelectric effects in heavy oil reservoirs*. Fluid Dynamics, 47(6), 843–856.
11. Tretyakov, V. F., et al. (2019). *Electric treatment of near-wellbore zone to increase productivity*. Journal of Mining Institute, 238, 345–352.
12. Wang, K., Chen, C., & Yu, H. (2020). *Influence of electric fields on wettability and interfacial tension in porous media*. Colloids and Surfaces A, 602, 124988.
13. Yermakov, T. P., & Khasanov, M. K. (2018). *Electrohydrodynamic intensification of oil recovery in fields with high-viscosity oil*. Petroleum Geology and Recovery Methods, 26(3), 57–64.
14. Zhang, D., & Sarma, H. (2012). *Electrokinetics for enhanced oil recovery in low-permeability reservoirs*. SPE Journal, 17(4), 1182–1194.