

МЕХАТРОННЫЙ ПРОТОЧНЫЙ АНАЛИЗАТОР ЖИДКОСТИ НА БАЗЕ МЕТОДА ПРОТОННОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

Кашаев Р.С., Нгуен Дык Ань, Козелков О.В.

Казанский государственный энергетический университет, Казань

Ключевые слова: мехатронный, анализатор, магнитный, резонанс.

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы проточного экспресс-контроля характеристик скважинной жидкости на нефтегазовом месторождении, обосновывается утверждение, что метод протонной магнитной резонансной релаксометрии универсален и уникален для решения данной задачи. Предлагается для этой цели и исследуется автоматизированный аппаратно-программный комплекс АПК-IV. Анализируются концепции методик измерения скоростей потоков, концентрации воды и газонасыщенности в нефти. Особое внимание уделяется повышению чувствительности АПК-IV использованием усовершенствованных магнитов. На основе проведенных испытаний комплекса авторами сделан вывод о применимости комплекса при добыче и подготовке нефти.

MECHATRONIC FLOW ANALYZER OF THE LIQUID ON THE BASE OF PROTON MAGNETIC RESONANCE METHOD

Kashaev R.S., Nguen D.A., Kozelkov O.V.

Kazan state power engineering university, Kazan

Keywords: mechatronic, analyzer, magnetic, resonance.

Abstract. In the paper are considered the problems of the characteristics oil-well liquid flow express-control on the oil-gas deposit, substantiates the approval that method of proton magnetic resonance relaxometry is universal and unique for this problem solve. Proposed and investigated automated, apparatus-program complex APC-IV for this purpose. Analyzed the concepts of the measurement methods of the flow velocities, water concentrations and gas saturation. Especial attention is devoted to the rise of sensibility of complex APC-IV by the use of improved magnets. On the base of carried out tests by the authors is made the conclusion about the applicability of the complex at oil mining and preparation.

Российская экономика переходит на инновационный, цифровой путь развития. Распоряжение правительства Российской Федерации №1632 о «создании экосистемы цифровой экономики на направлениях: новые производственные технологии и компоненты робототехники», актуализирует контроль и управление нефтедобычи, подготовки сырья автоматизированными роботизированными (мехатронными) комплексами, в частности на месторождениях с содержанием воды выше $W > 95\%$. Это требует внедрения экспресс-контроля скоростей потоков, воды в нефти во всем диапазоне её концентрации и газонасыщенности. Необходимо снизить время анализа и ошибки, которые достигают $\pm 15\%$ при измерениях и $\pm 30\%$ при отборе проб [1]. Анализ характеристик нефти в лабораторных условиях длится часами и зависит от представительности пробоотбора скважинной жидкости (СКЖ), удовлетворяющего ГОСТ Р 8.866-2015, т.е. не создавая сопротивления потоку.

Большие возможности для решения задач предоставляет неразрушающий метод ядерной (протонной) магнитной резонансной релаксометрии (ПМРР), позволяющий единым анализатором осуществлять мониторинг характеристик жидкости и водных эмульсий нефти (ВЭН) по ПМРР-параметрам. Возможности ПМР связаны с тем, что ПМР-параметры молекул нефти и воды, четко коррелируют с характеристиками ВЭН и нефти. В постоянном магнитном поле B_0 и воздействии переменным магнитным полем B_1 на частоте магнитного резонанса ν_0 происходит поглощение электромагнитной энергии по формуле:

$$\nu_0(\text{Гц}) = \gamma B_0 / 2\pi \text{ или } \omega_0(\text{рад}) = \gamma B_0. \quad (1)$$

Это и есть явление ЯМР. Результаты измерений не зависят от того, в каком состоянии находится образец: в расслоенном или перемешанном, непрозрачном, при наличии механических примесей и газа. Для измерений не требуются реактивы, требуемый объем образца не превышает 15 мл. В методе ПМРР пробоподготовка отсутствует, методические ошибки минимизируются усреднениями при накоплении сигнала, обработкой данных с аппроксимацией кривых с высокими коэффициентами корреляций.

Возможности ПМРР нами были продемонстрированы в работах [2-5].

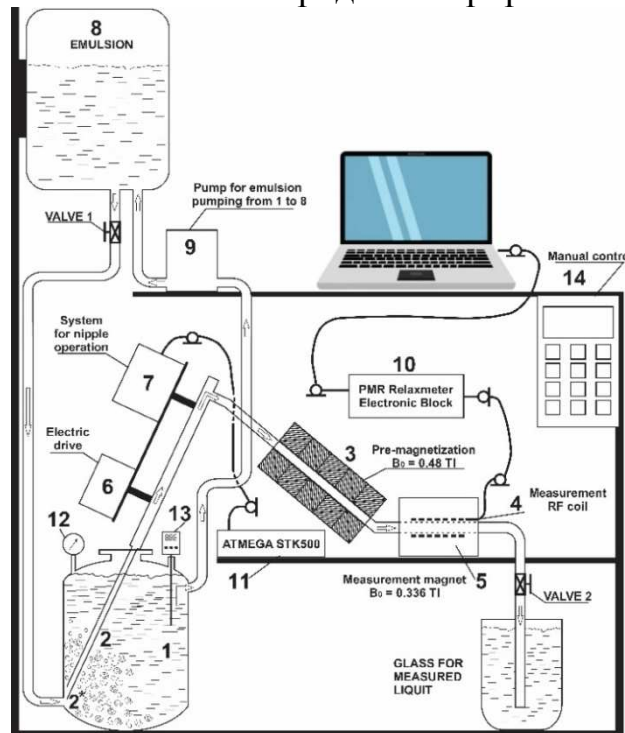


Рис. 1. Структурная схема стенда для испытаний АПК-IV

Нами разработан аппаратно-программный комплекс (АПК-IV) основанный на методе ПМРР. Структурная схема стенда для испытаний АПК-IV представлена на рисунке 1. В комплексе разработанный нами релаксометр ПМР [7] (не имеющий аналогов) – основной измерительно-управляющий модуль 14 для определения влажности СКЖ и ВЭН. Он имеет характеристики: питание от аккумулятора 12 В или сети 220 В, время измерения < 2 минут, параметр чувствительности $K = \nu^2 D^3 = 2700-4150 \text{ МГц}^2 \text{ см}^3$, что близко к релаксометру Minispec-mq (Bruker). В ноутбуке по программе определяются ПМР-параметры, по которым по установленным корреляциям определяются физико-химические свойства ВЭН в соответствии с ГОСТ 8.615-2005 ГСИ.

Принцип пробоотбора основан на постоянстве расхода $Q_i = S_i \cdot v_i = \text{const}$, где P_i – давления в разных сечениях S_i блока 1 АПК. Поток жидкости поступает в 1 через патрубок 2', снижает скорость v и увеличивает давление P пропорциональное корню квадратному из сечения S_i . В результате происходит турбулентная гомогенизация многофазной смеси. Далее под перепадом давлений ($P_{\text{тр}} - P_{\text{п}}$) между трубопроводом и патрубком 2 жидкость по трубке 2 проходя через магнит подмагничивания 3 поступает в катушку 4 датчика измерительного магнита 5 релаксометра ПМР 10. Перемещение патрубка 2', осуществляется электроприводом 6, управляемым системой 7 по программе микропроцессора *Atmega 8515L*. Характеристики ВНЭ и других смесей определяются по уравнениям, описанным в статье [7]. В таблице 1 представлены характеристики АПК-IV по сравнению с анализатором НЕДРА и зарубежным многофазным ЯМР-анализатором MFMA (Krohne, Norway) [8].

Табл. 1. Параметры АПК-IV в сравнении с ПМР-анализаторами

| Наименование анализатора, компания | Диапазон измерений (%) | Масса M , кг, габариты L , м, потреб. мощность P , ВА | Ошибки измерений (%) |
|------------------------------------|---|--|---|
| “НЕДРА” (КНИРТИ), Казань, 1998г. | Расход 1-200 м ³ /ч; Концентрация воды, нефти 0-100%, Газа 0-250 % | $M = 350$, $L = 1.6 \times 0.8 \times 0.2$; $0.31 \times 0.43 \times 0.5$, $P = 1500$ | ± 4.0 ; ± 4.0 , вода; ± 6.0 , газ. |
| MFMA (Krohne, Norway) [16] 2013 г. | 0,64-46,3 м ³ /ч (расход), 0-100 (вода) 0-250 (газ) | $M = 800$ (оценка по фото, нет данных), $L = \varnothing 0.3 \times 3$ м, $P = 1000$ (наша оценка, нет данных) | 0.5-1.0, расход; 0.5-1.0, вода 0.5-1.0, газ |
| “АМС-IVT” (КГЭУ), 2022 г. | 0.66-475 м ³ /ч (расход); 0-100 (вода, нефть); 0-250 (газ); 700-1100 кг/м ³ плотность; 1.5-350 мПа·с вязкость; 0-15 μm, Дисперсное распределение капель в эмульсии (ДПК); 0-15% асфальтено-смола (АС) | $M = 200$, $L = 1.5 \times 1.5 \times 1.0$, $P = 400$ | ± 0.5 , расход, вода, нефть, ± 3.85 , газ; ± 1 , плотность, вязкость, ДПК, АС |

Список литературы

1. Патент №150614 РФ. Автоматический пробоотборник / М.С. Немиров, С.И. Силаньбева, Е.В. Савинов, Р.Р. Нурмухаметов. – Заявка №2014136599/28 от 09.09.2014; опублик. 20.02.2015, Бюл. № 5
2. Kashaev R.S. Apparature and NMR-method of oil disperse systems analysis. Germany, Saarbruken: Lambert Academic publishing, 2012. – 92 p.

3. Kashaev R.S. Oil Disperse Systems Study Using Nuclear Magnetic Resonance Relaxometry (NMRR) // *Advances in Energy Research*. 2013, vol. 16, pp. 91-164. <https://novapublishers.com/shop/advances-in-energy-research-v.16/>
4. Kashaev R.S. On-line multiphase flow measurement of crude oil properties using nuclear (proton) magnetic resonance automated measurement complex for energy safety at smart oil deposits // *Energies*. 2023, vol. 16(3), p. 1080. <http://doi.org/10.3390/en16031080>.
5. Kashaev R.S.-H., Faskhiev N.R. Nuclear (Proton) Magnetic Resonance Relaxometry Study of the Effect of Rotating Magnetic Field on the Emulsion Structure // *Applied Magnetic Resonance*. 2011, vol. 41, pp. 31-43. <doi.org/10.1007/s00723-011-0236-2>.
6. Кашаев Р.С., Козелков О.В., Темников А.Н., Чан Ван Тунг, Нгуен Тъи Киен. Релаксометр протонного магнитного резонанса // *Приборы и техника эксперимента*. – 2019. – №2. – С. 145-148.
7. Козелков О.В., Кашаев Р.С. Приборные и мехатронные комплексы в нефтяной промышленности и энергетике: монография. – Махачкала: Апробация, 2019. – 112 с.
8. Hogendoorn J., Boer A., Appel M., de Jong H., de Leeuw R., Magnetic Resonance Technology. A New Concept for Multiphase Flow Measurement // 31-th International North Sea Flow Measurement Workshop, 22-25 October 2013, Tonsberg, Norway.

Сведения об авторах:

Кашаев Рустем Султанхамитович – д.т.н., профессор, профессор кафедры Приборостроения и мехатроники;

Нгуен Дык Ань – аспирант;

Козелков Олег Владимирович – д.т.н., доцент кафедры Приборостроения и мехатроники.