© Нгуен Тьи Киен, Р.С. Кашаев

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И

(cc) BY

УДК 665:539.143.43 **DOI:10.30724/1998-9903-2020-22-2-108-116**

СТЕНД ПМР-АНАЛИЗАТОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЯЗКОСТИ И СОСТАВА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ МЕТОДОМ ПМР-РЕЛАКСОМЕТРИИ

Нгуен Тьи Киен[1], Р.С. Кашаев[2]

Казанский государственный энергетический университет
г. Казань, Россия
ORCID[1]: https://orcid.org/0000-0002-5679-5442, nckien@cnd.edu.vn

Резюме: *В статье описывается стенд для изучения системы поточного анализатора на основе протонного магнитного резонанса (ПМР), употребляемого для оперативного управления протон содержащих смесей на вязкость и состав концентрации асфальтенов и смол (АС) при нефтедобыче, нефтеподготовке и использовании на объектах энергетики при анализе жидкого топлива.*

В данной статье также рассматривается оборудование, которое используется для управления параметрами нефти методом ПМР-Релаксометрии. Особое внимание обращается на изучение физико-химических свойств компонентов нефтей с использованием ПМР. Использование оборудования для пробоотбора с задачей проточного экспресс- управления параметров нефти методом ПМР-релаксометрии даст возможность устранить расслоение фаз в пробоотборнике (конический расширитель) и влияния на измерение неполного заполнения трубки, обеспечить интенсификацию гомогенизацию потока жидкости в коническом расширителе, а также автоматизацию процесса измерения.

Ключевые слова: *ПМР-анализатора (ПМРА); вязкость; многокомпонентные жидкости; концентрации асфальтенов и смол(АС); нефть; стенд.*

Благодарности: *Авторы благодарны кафедре Приборостроения и мехатроники Казанского государственного энергетического университета за поддержку в создании оборудования.*

Для цитирования: Нгуен Тьи Киен, Кашаев Р.С. Стенд ПМР-анализатора для измерения вязкости и состава многокомпонентных жидкостей методом ПМР-релаксометрии // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020. Т. 22. № 2. С. 108-116. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-1-108-116.

TESTING STAND OF PMR ANALYZER FOR MEASURING VISCOSITY AND COMPOSITION OF MULTICOMPONENT LIQUIDS BY PMR RELAXOMETRY METHOD

Nguyen Chi Kien[1], R.S. Kashaev

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia
nckien@cnd.edu.vn
ORCID[1]: https://orcid.org/0000-0002-5679-5442, nckien@cnd.edu.vn

Abstract: *The article describes a bench for studying a system of a flow analyzer based on nuclear (proton) magnetic resonance (PMRA), used for the operational control of proton-containing*

multicomponent liquids (oils, fuels, oil and chemical products) and mixtures for viscosity and composition (concentration of asphaltenes and resins) during oil production, oil preparation and use at energy facilities in the analysis of liquid fuel.

This article also looks at the equipment that is used to control oil parameters with PMR-Relaxometry. Particular attention should be paid to the analysis of physical and chemical properties of oil components with the use of PMR. The use of sampling equipment for the purpose of controlling the rapid flow of oil parameters by the PMR method will eliminate phase separation in the sampling device and eliminate clogging with waste sediments, ensure efficient homogenization of the fluid flow in the sampler, as well as automate the measurement process.

Key words: *PMR analyzer (PMRA); viscosity; multicomponent liquids; concentrations of asphaltenes and resins (AR); oil; laboratory pedestal.*

Acknowledgments: *The authors are grateful to the Department of Instrument Engineering and Mechatronics of Kazan State Power Engineering University for supporting research equipment.*

For citation*:* Nguyen Chi Kien, Kashaev RS. Testing stand of PMR analyzer for measuring viscosity and composition of multicomponent liquids by PMR relaxometry method // *Power engineering: research, equipment, technology.* 2020; 22(2):108-116. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-2-108-116.

Введение

Современный этап нефтедобычи характеризуется возрастанием доли тяжелых нефтей с высокой концентрацией асфальтенов, смол (АС), вязкость нефти может достигать 1000 мПа×с, и проблема ее контроля для ее подготовки и транспортировки, является актуальной для снижения затрат. Снижение АС для предотвращение асфальто-смолисто-парафиновых отложений также одно из приоритетных направлений нефтедобычи. Важно повысить точность измерений – ежегодные потери в стране из-за погрешностей измерений составляет $1,5 млрд. Поточный экспресс-контроль требует создания интегрированных аппаратно-технологических комплексов, обеспечивающих такие функции, как непрерывный пробоотбор с автоматическим экспресс-анализом. Но, к сожалению, в РФ не существует нормативной документации по применению поточных приборов и анализаторов, аналогичных зарубежным *API* 551, 555.

Для реализации поточного контроля параметров скважинной жидкости (СКЖ) по ГОСТ 8.615-2005 требуется целая номенклатура анализаторов. Как правило, производителями серийных анализаторов являются зарубежные фирмы, что сопряжено с безопасностью приборного оснащения отечественной нефтедобычи – есть случаи отключения ее с сигналов со спутника[1-2]. Время анализа анализаторов довольно длительно, что затрудняет синхронизацию вывода результатов на диспетчерский пульт. Вследствие разности применяемых в них физических методов и программного обеспечения, процесс контроля сложен и недоступен развитию.

Близким к разрабатываемому нами проточному ПМР-анализатору (ПМРА) является анализатор КОУН на базе спектрометра ЯМР высокого разрешения (по спектрам ЯМР) [3-4]. Имеется его малогабаритный вариант. Однако, его характеристики не позволяют использовать его непосредственно у скважин и в парках подготовки нефти. Кроме того, диаметр проточных патрубков малогабаритных КОУН мал, что вызвано необходимостью высокой однородности магнитного поля ~ 10^{-7}, что требует малого диаметра датчика при магните большой массы. В патрубке такого диаметра будут образовываться асфальто-смолисто-парафиновые отложения.

Материалы и методы

Автоматизация контроля экспресс-анализа физико-химических свойств углеводородного сырья (УВС), в частности, вязкости, АС [5] являются важными для нашей страны с разбросанностью месторождений на огромной территории и протяженной трубопроводной системой.

Республика Татарстан обладает большими залежами высоковязкой нефти, занимающими все больший объем добываемого сырья, вязкость которого достигает 1000 мПа·с. Снижение влияния АС на качество сырья и предотвращения асфальто-смолисто-парафиновых отложений в трубопроводах также весьма важна. Проблема как

можно более раннего контроля этих параметров является актуальной и одним из приоритетных направлений техники контроля СКЖ [3].

Уникальными возможностями контроля обладает метод импульсного ядерного (протонного) магнитного резонанса (ПМР), в частности метод протонной магнитно-резонансной релаксометрии (ПМРР), позволяющий без подготовки пробы в автоматическом режиме в лабораторных условиях и в режиме *on-line* на потоке проводить экспресс-анализ СКЖ и СН, замещая ряд приборов, требуемых для контроля СКЖ по ГОСТ 8.615-2005.

В данной статье описана разработанная система представительного пробоотбора в составе ПМРА имеющая цель устранения из потока СКЖ твердых примесей, совершенствование перемещения патрубка, оптимизацию корпуса, уменьшения габаритов магнита ПМРА. Конструкция ПМРА с системой пробоотбора с управлением от микроконтроллера *ATMEGA* 8515*L* представлена на рис.1.

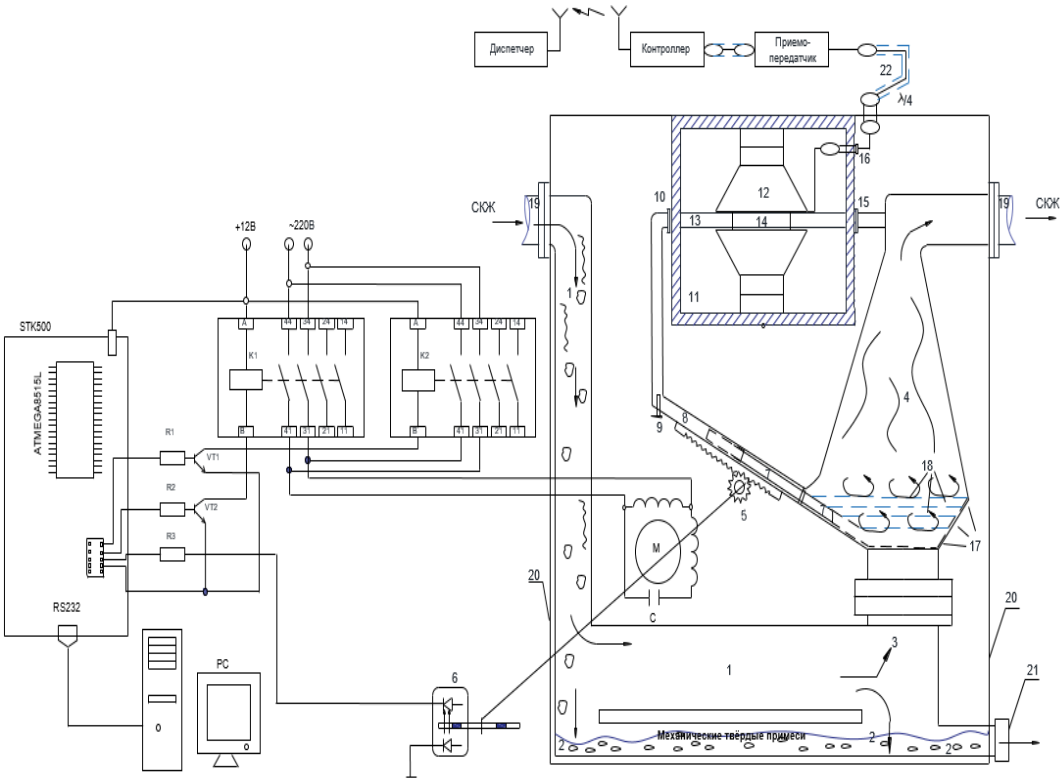


Рис.1. Электромеханическая и кинематическая схема проточного ПМР-анализатора

На рис.1 представлен такой ПМР-анализатор [5,6], способный в автоматическом режиме проводить указанные измерения. На рис.1. цифрами обозначены: *1* - измерительная труба; *2* - полость механических твёрдых примесей; *3* – сетка; *4* - пробоотборник (конический расширитель); *5* – шестерня; *6* - свето-фотодиод; *7* – патрубок; *8* – трубка; *9* – термоэлемент; *10* – фланец; *11* –ПМР-релаксометр; *12* - магнита полюсный наконечник; *13* - трубка диамагнитная; *14* - индуктивности катушка; *15* – фланец; *16* – разъем; *17* -датчики тензометрические; *18* - зубчатые кольца; *19* - магистральная труба; *20* – корпус; *21* - патрубок сброса механических твёрдых примесей; *22* – кабель.

Поток жидкости, попадая в коническом расширение *4*, уменьшает скорость υ и повышает давление *P* в степени, пропорциональной $\sqrt{S}$, где *S*- сечение *4*.В результате происходит интенсивная турбулизация смеси, которая гомогенизируется и через входной патрубок поступает со скоростью v_i, (определяемой положением патрубка), в датчик *14* магнита ПМР- анализатора и выходит через выходной патрубок *15*, который может быть установлен в любом положении трубы. В результате, скорость потока будет определяться разницей давлений в сечении конического расширителя. При положении патрубка, когда разница давлений равна нулю, независимо от скорости и давления в магистральной трубе скорость потока в датчике ПМР также минимальна, и измерение ПМР-параметров осуществляется «в остановленном потоке»[6,7]. Расширение *4* измерительной трубы *1* размещается вертикально дляустранения расслоения фаз в пробоотборнике (конический

расширитель) и влияния на измерение неполного заполнения трубки *8*, идущей в датчик ПМР. Перед входом в конический расширитель располагается сетка *3*, защищающая от мехпримесей. Положение патрубка при управлении от МК фиксируется гребенкой с шестерней *5*, синхронизированной со свето-фото диодным обтюратором *6*, отсчитывающим число оборотов шестерни.

Температура потока в трубке *8* измеряется термоэлементом *9*. Далее поток через фланцы *10* поступает в зазор полюсных наконечников *12* магнита *11* ПМР-релаксометра по диамагнитной трубке *13* с катушкой индуктивности *14*, по сигналу с которой определяются времена спин-спиновой релаксации T_2, по которым в ЭВМ (Ноутбук) рассчитываются вязкости η и АС в СКЖ. Сигнал ПМР с катушки индуктивности *14* поступает на *16* разъем и по кабелю *22* идёт в приемо-передатчик релаксометра ПМР, затем на контроллер и далее по каналу на диспетчерский пункт. Все устройство помещено в корпус *20* с патрубком *21* для сброса осевших в емкости *2* механических примесей.

Микроконтроллер *ATmega* 8515 имеет производительность 1 миллион операций в секунду. Имеет *AVR* ядро с 32 регистрами, подключенными к арифметико-логическое устройству. Поддерживается Си-компилятором, макроассемблером. Для питания тактового генератора на плате *STK*500 имеется источник питания на 15 В с преобразователем *DR*-4515 от ~220 В. Для инициализации управления положением патрубка *7* по ПМР-данным СКЖ, компьютер выбирает из базы данных положение патрубка, соответствующее максимальной крутизне зависимости $(T_{2Эфф})^{-1}$от скорости v_i. Затем с Ноутбука вызывается программа управления электроприводом патрубка. Ожидается появление команда «Пуск» для загрузки в программу измерения.

Для поточного контроля в скважинной жидкости (СКЖ) и водо-нефтяных эмульсиях (ВНЭ) таких важных параметров нефти, как вязкость и концентрация асфальтенов и смол, нами предлагается способ измерения с использованием метода ПМР-релаксометрии. Способ заключается в отборе пробы из потока жидкости в трубопроводе, облучении образца в датчике релаксометра ПМР в составе ПМРА.

Для получения зависимостей вязкости η от скорости релаксации $(T_{2эфф})^{-1}$ использовался 21 вид нефти Поволжья (рис.2.). Погрешности измерений составили $\delta_{отн}$ = S·100%/64(мПа·с) = ± 3,1%. По результатам исследованиям экспресс-методов ПМР определения вязкости и асфальтенов в нефтях [8-10], из зависимостей динамических вязкостей η ($R_{1,2A}$) от скоростей релаксации $R_{1,2A}$= $(T_{1,2H})^{-1}$, представленных на рис.2 и описываемых с коэффициентами корреляции R^2 = 0,99 со стандартными отклонениями S = 1,55-2,3 с учетом связи ν = η/ρ уравнениями (1) и (2) определяются значения вязкости ν нефтяной компоненты СКЖ или ВНЭ [7,11-12].

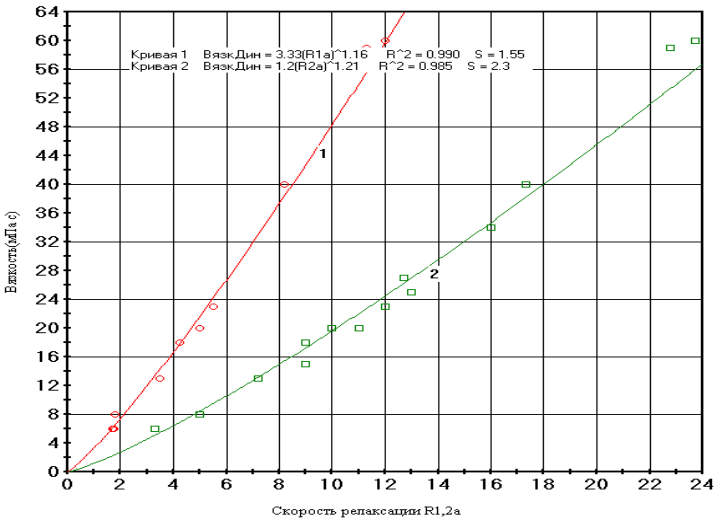


Рис.2. Зависимости динамических вязкостей η = νρ от скоростей релаксации η(R_{1A}) – кривая 1,η(R_{2A}) – кривая 2

$$\upsilon = \frac{3,33}{\rho} R_{1A}^{1,16} \qquad (1)$$

$$\upsilon = \frac{1,2}{\rho} R_{2A}^{1,21} \quad (2)$$

Для получения зависимостей Асфальтенов (%) от времен релаксации $T_{1,2}$ использовались 26 видов нефти Поволжья и месторождения *Васн-Но* (Вьетнам) (рис.3.) Зависимости концентраций $A_{сф}$ для видов нефти Поволжья и Зап.Сибири, (кривые 1,2) и видов нефти Васн, но от времен T_{2A} (кривая 3), а также для сравнения зависимости $A_{сф}$ от T_{2A} представлены на рис.3.

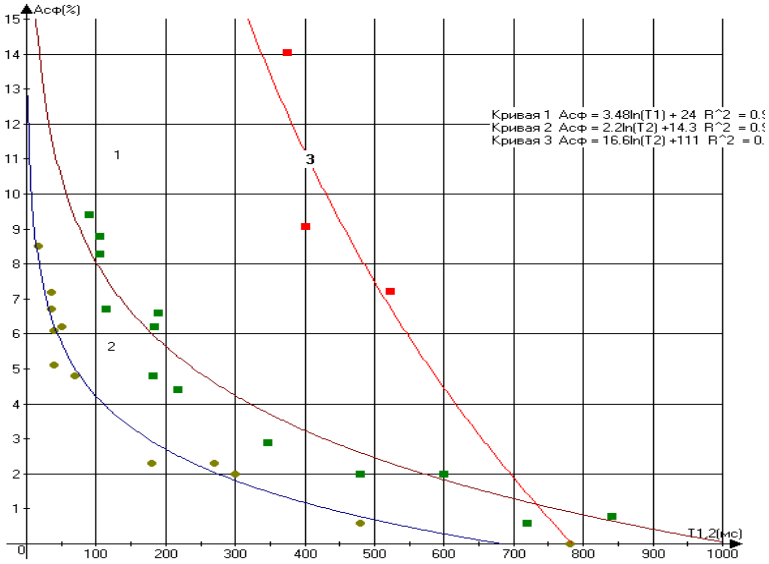


Рис.3. Зависимости концентраций *Асф* от измеренных времен $T_{1,2A}$ (кривые 1 и 2) для видов нефти Поволжья и Западной Сибири и T_{2A} для вьетнамских видов нефти *Васн-Но*

Они с коэффициентами корреляции $R^2 = 0,956$ и $S = 0,7$ описываются уравнениями:

$$\text{Асф} = 3,48\ln(T_{1A}) + 24 \quad (3)$$

$$\text{Асф} = 2.2\ln(T_{2A}) + 14,3 \quad (4)$$

$$\text{Асф} + C_{мол} = 16,61n(T_{2A}) + 111 \quad (5)$$

Здесь уравнения (3,4) относятся к отечественным видам нефти Поволжья, уравнение (5) – к видам нефти *Васн Но (*Вьетнам).

Результаты и обсуждение

Испытания системы пробоотбора проводились на стенде путем определения точности измерения скорости потока *V* водо-нефтяных эмульсий, прокачиваемых насосом через макет-стенд ПМР-анализатора, поскольку скорость можно точно определить по формуле $V = Q/S$ зная производительность насоса (расход) *Q* и сечение трубки *S*. Испытания проводились в образцах чистой воды, 90%, 80%, 55% и 20%-й эмульсии.

Для измерения скорости потока и расхода входной патрубок располагается в таком положении сечения расширения трубы, которое обеспечивает диапазон скоростей потока, для которого ранее экспериментально была получена зависимость значений $T_{2Эфф}$ эффективной скорости релаксации от скорости потока*V*(м/с) или расхода Q(л/час):

$$(T_{2Эфф})^{-1} = (T_{2o})^{-1} + (\tau)^{-1}, \quad (6)$$

где $T_{2Эфф}$ – измеряемое время спин-спиновой релаксации водо-газо-нефтяной смеси потока, T_{2o} – время спин-спиновой релаксации неподвижной жидкости, τ – время пребывания жидкости в объеме катушки датчика.

Скорость потока *V* определяются по формулам:

$$V = K_C S\,[(T_{2o})^{-1} + (\tau)^{-1}]/KS_Д \quad (7)$$

Скорости потока V_i отдельных компонент СКЖ определяют по формуле:

$$Q_i = Q \cdot A_{oi}/\sum A_{oi} \quad (8)$$

где $A_{oi}/\sum A_{oi}$ концентрация i-й компоненты смеси, определяемой из огибающих эхо в методике КПМГ. Макет-стенд ПМР-анализатора реализован в датчике с трубкой ∅30 мм в зазоре магнита портативного релаксометра ПМР-*NP*2 [7,11-13].

Результаты измерений зависимостей скоростей релаксации $(T_{2эфф})^{-1}$ от скорости V потока в образцах чистой воды, 90%, 80%, 55% и 20%-й эмульсии приведены на рис.4. Скорость потока V определялась и регулировалась производительностью жидкофазного насоса. Обратная зависимость $V(T_{2эфф})$ от времен релаксации $T_{2эфф}$, удобная для ввода в базу данных Ноутбука и для наглядных оценок, приведена на рис.5

Полученные данные обрабатывались в *AdvancedGrafer*. Из рис.5 видно, что все кривые зависимости имеют излом при V= 0,2 м/сек и с коэффициентами корреляции R^2 = 0,956-0,999 со среднеквадратическими отклонениями S≈0,04 описываются уравнениями:

1а V(м/с) = 6,22exp(– 3.2·T_2), для 90%-й эмульсии при V>0,2 м/с (9)

1в V(м/с) = 0,45/ T_2V< 0,2 м/с (10)

2а V(м/с) = 6exp(– 3,7 T_2) для 75%-й эмульсии, V>0,2 (11)

2в V (м/с) = 0,76/T_2V< 0,2 м/с (12)

3а V = 2,4·10^6exp(– 13,8 T_2) для 25%-й эмульсии, V> 0,2 (13)

3в V = 1,77/T_2 – 1,355 V< 0,2 (14)

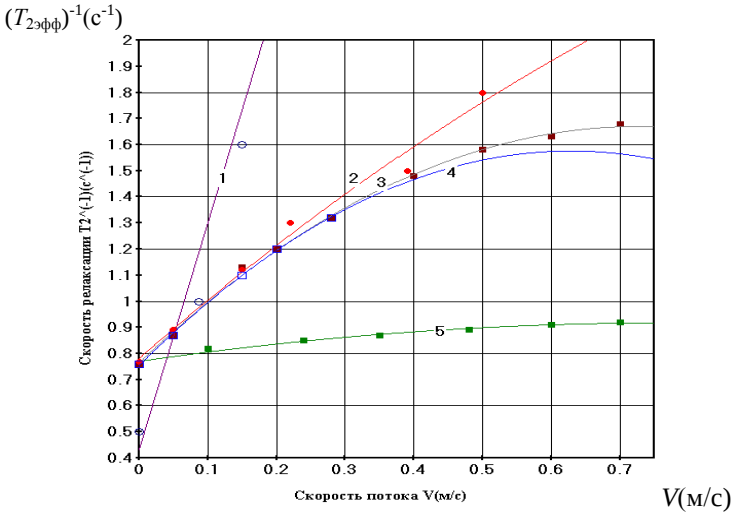


Рис.4. Зависимость скорости спин-спиновой релаксации $T_{2эфф}^{-1}$ для воды (кривая 1), 90%-й (2), 80% (3), 55%-й (4) и 20%-й (5) эмульсий от скорости потока водо-нефтяной эмульсии

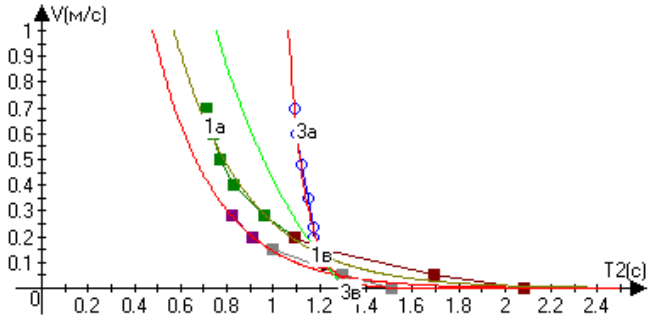


Рис.5. Зависимость скорости потока V от времен эффективной спин-спиновой релаксации T_2 для 90%-й (кривая 1*а*, *в*), 75% (кривая 2*а*, *в*) и 25%-й (кривая 3*а*, *в*) эмульсий. Точки – измерения ПМР-анализатором, сплошные кривые – истинные зависимости скоростей потока от времен релаксации T_2

То есть относительная ошибка измерения составила $\delta_{отн}$ = S·100%/1(м/с) = 4%.

С целью изучения работы ПМРА при поточном контроле в СКЖ и ВНЭ вязкости и концентрации асфальтенов и смол, нами разработан учебный стенд на рис. 6. На стенде внизу расположен Ноутбук с программой обработки результатов измерений методом ПМР-релаксометрии. Слева на столе – датчик с магнитом, к которому по трубке подводится скважинная жидкость, взятая из потока через патрубок, установленный в коническое расширение вставляемое через фланцы в трубу от скважины или магистральный трубопровод. На стенде – кинематическая схема перемещения патрубка. Справа –

контроллер *ATmega 8515L*, управляющий перемещением патрубка и отбором пробы для анализа в ПМР – анализаторе.



Рис.6. Учебный стенд по изучению ПМР-анализатора

С использованием разработанного ПМРА и портативной автономной аппаратуры, уравнения (1-5) могут быть использованы для экспресс-контроля определения вязкости и асфальтенов в нефти в процессе ее добычи и транспортировки [13-15].

Выводы

1. Для получения зависимостей вязкости η от скорости релаксации $(T_{2эфф})^{-1}$ использовался 21 вид нефти Поволжья**.** Погрешность измерения составила $\delta_{отн} = S{\cdot}100\%\ 64(мПа{\cdot}с) = \pm\ 3.1\%$.

2. Для получения зависимостей Асфальтенов (%) от времен релаксации $T_{1,2}$ использовались 26 видов нефти Поволжья и месторождения *Васи-Но* (Вьетнам)**.** Погрешность измерений составила $\delta_{отн} = S{\cdot}100\%/15(\%) = \pm\ 4.7\%$.

3. Результаты испытаний стенда показали, что предложенная система пробоотбора и анализа дает следующие преимущества:

– Магистральная труба может быть любого диаметра;

– В пробоотборнике осуществляется гомогенизация газо-водно-нефтяной смеси без дополнительных смесителей, создающих сопротивление потоку;

– Подача пробы в датчик ПМР-релаксометра производится перепадом давлений, регулируемых положением патрубка в расширителе, при этом не требуются насосы и задвижки, можно остановить поток в датчике ПМР;

– Можно сканировать поток по сечению трубы перемещением патрубка.

– Испытания системы пробоотбора проводились на стенде путем определения точности измерения скорости потока *V* водо-нефтяных эмульсий и показали, что среднеквадратическая ошибка не превышает 0,04, что соответствует относительной ошибке ± 4%.

Литература

1. Timothy Mark EP 0 691 526 A1 G01F1/74 “Method and apparatus for the determination of the individual mass flow rates of the multicomponent flow”, 1998. inventor: Bayer, Alwin D-91171 Greding (DE), representative: Gregory, Timothy Mark Northampton NN1 SEL (GB).

2. Калабин Г.А., Каницкая Л.В., Кушнарев Д.Ф. Количественная спектроскопия ЯМР природного органического сырья и продуктов его переработки. М.: Химия. 2000. 410с.

3. Кашаев Р.С., Киен Н.Т., Тунг Ч.В., Козелков О.В. Экспресс-методы протонной магнитно-резонансной релаксометрии // Журнал прикладной спектроскопии. 2019. №5(86) С.807-812.

4. Кашаев Р.С, А.Н.Темников, Тунг Ч.В., Киен Н.Т., Козелков О.В. Релаксометр протонного магнитного резонанса // Журнал приборы и техника эксперимента. 2019. №2. С.145-148.

5. Кашаев Р.С., Сунцов И.А., Киен Н.Т., Тунг Ч.В., Усачёв А.Е., Козелков О.В. Экспресс-метод и аппаратура протонного магнитного резонанса // Журнал прикладной спектроскопии. 2019. №2(86). С.263-268.

6. Киен Н.Т., Тунг Ч.В. Контроль параметров нефти и управления нефтедобычей по данным ПМР анализатора // Материалы докладов 12 Международная молодежная научная конференция «Тинчуринские чтения». 26 – 28 апреля 2017 г, Казань, КГЭУ. С.280 – 283.

7. Киен Н. Т., Тунг Ч.В., Кашаев Р.С. Электро-аппаратный комплекс для проточного контроля параметров нефти // Сб. статей по материалам Межд. н./пр. конференции. Научные исследования в

современном мире: опыт, проблемы и перспективы развития, Уфа, Вестник наука, 19 мая 2019 г. Ч. 1, с. К-7-37.

8. Киен Н.Т., Тунг Ч.В., Кашаев Р.С. Определение параметров скважинной жидкости проточным ПМР-Анализатором // Материалы докладов 4 Поволжская научно-практическая конференция. Приборостроение и автоматизированный электропривод и топливо-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве, Казань, ФГБОУ ВО КГЭУ, 6-7 декабря 2018 г. С 147 – 150.

9. Кашаев Р.С., Тунг Ч.В., Киен Н.Т., Козелков О.В. Проточный анализатор нефти на базе протонного магнитного резонансного релаксометра // Сборник научных трудов по материалам 1 Межд. н./пр. конференции, 30 июня 2018 года, г. Смоленск. С.89-90.

10. Киен Н.Т., Тунг Ч.В. Блок приёмника переносного автономного протонного магнитного резонансного релаксометра // Материалы докладов 13 Межд. науч. конф. «Тинчуринские чтения», 26 апр. 2018 года. С 110 – 112.

11. Киен Н.Т., Тунг Ч.В. Устройство для измерения состава и расхода многокомпонентых жидкостей методом протонного магнитного резонанса // Материалы докладов 21 Аспирантско-магистерский научный серминар, посвященный Дню энергетика Казань, КГЭУ, 5-6 декабря 2017 г. С 353-357.

12. Kashaev R.S., Kozelkov O.V., Tung T.V., et al. On-line flow proton magnetic resonance analyzer. V Межд. науч. конф. Fundamental and applied research in nanotechnology. Munich, Germany, 31.10.-5.11. 2018. Опубликовано в «International journal of applied and fundamental research.

13. Deng F.,Wang X.M., T.Lulin Y, et al. Online NMR flowing fluid measurements. Appl. Magn. Reson. 2016. V.47. Iss.11. pp.1239-1253.

14. Khasanova N., Sakharov B., Volkov V., Nurgaliev D. Low field method for analysis of heavy oils without extraction. 17-th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM2017, 2017. Viena, Austria, pp.297-304.

15. Kashaev R.S., Kien N.T., Tung Ch.V., et al. Correlation of Physicochemical Properties of Bach Ho Oils with Proton NMR Relaxation Parameters and Their Temperature Dependence. Petroleum Chemistry. 2019. Vol. 59(1). pp. 21–29.

Авторы публикации

Нгуен Тьи Киен – аспирант, Казанский государственный энергетический университет.

Кашаев Рустем Султанхамитович– д-р техн. наук, профессор кафедры «Приборостроение и мехатроника» (ПМ), Казанский государственный энергетический университет.

References

1. Timothy Mark. EP 0 691 526 A1 G01F1/74 “Method and apparatus for the determination of the individual mass flow rates of the multicomponent flow”, 1998. *inventor: Bayer, Alwin D-91171 Greding (DE), representative: Gregory, Northampton NN1 SEL (GB)*.

2. Kalabin GA, Kanitskaya LV, Kushnarev DF. Kolichestvennaya spektroskopiya YaMR prirodnogo organicheskogo syr'ya i produktov ego pererabotki . M.: Khimiya. 2000. 410.

3. Kashaev RS, Kien NT, Tung ChV, et al. Ekspress-metody protonnoi magnitno-rezonansnoi relaksometrii. *Zhurnal prikladnoi spektroskopii*. 2019;86(5):807-812.

4. Kashaev RS,Temnikov AN, Tung Ch.V, et al. Relaksometr protonnogo magnitnogo rezonansa. *Zhurnal pribory i tekhnika eksperimenta*. 2019;(2):145-148.

5. Kashaev RS, Suntsov IA, Kien NT, et al. Ekspress-metod i apparatura protonnogo magnitnogo rezonansa. *Zhurnal prikladnoi spektroskopii*. 2019;86(2):263-268.

6. Kien NT, Tung ChV. Kontrol' parametrov nefti i upravleniya neftedobychei po dannym PMR analizatora. *Materialy dokladov XII Mezhdunarodnaya molodezhnaya nauchnaya konferentsiya «Tinchurinskie chteniya»*. 26 – 28 aprelya 2017 g, Kazan', KGEU. pp.280-283.

7. Kien NT, Tung ChV, Kashaev RS. Elektro-apparatnyi kompleks dlya protochnogo kontrolya parametrov nefti. Sb. statei po materialam Mezhd. n./pr. konferentsii. Nauchnye issledovaniya v sovremennom mire: opyt, problemy i perspektivy razvitiya, Ufa, *Vestnik nauka* Pt.1. 2019.

8. Kien NT, Tung Ch, Kashaev RS. Opredelenie parametrov skvazhinnoi zhidkosti protochnym PMR-Analizatorom. *Materialy dokladov IV Povolzhskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. Priborostroenie i avtomatizirovannyi elektroprivod i toplivo-energeticheskom komplekse i zhilishchno-kommunal'nom khozyaistve, Kazan', FGBOU VO KGEU,* 6-7 dekabrya 2018. pp 147-150

9. Kashaev RS, Tung ChV, Kien NT, et al. Protochnyi analizator nefti na baze protonnogo magnitnogo rezonansnogo relaksometra. *Sbornik nauchnykh trudov po materialam I Mezhd. n./pr. konferentsii,* 30 iyunya 2018, g. Smolensk. pp.89-90.

10. Kien NT, Tung ChV. Blok priemnika perenosnogo avtonomnogo protonnogo magnitnogo rezonansnogo relaksometra. *Materialy dokladov XIII Mezhd. nauch. konf. «Tinchurinskie chteniya»*, 26 apr. 2018. pp 110-112.

11. Kien NT, Tung ChV. Ustroistvo dlya izmereniya sostava i raskhoda mnogokomponentykh zhidkostei metodom protonnogo magnitnogo rezonansa. *Materialy dokladov XXI Aspirantsko-magisterskii nauchnyi serminar, posvyashchennyi Dnyu energetika Kazan*', KGEU, 5-6 dekabrya 2017. pp 353-357.

12. Kashaev RS. Kozelkov OV, Tung TV., et al. On-line flow proton magnetic resonance analyzer. *V Межд. науч. конф. Fundamental and applied research in nanotechnology*. Munich, Germany, 31.10.-5.11. 2018. Опубликовано в «International journal of applied and fundamental research.

13. Deng F, Wang X.M, Lulin YT, et al. Online NMR flowing fluid measurements. *Appl. Magn. Reson.* 2016;47(11):1239-1253. doi. 10.1007/s00723-016-0832-2.

14. Khasanova N, Sakharov B, Volkov V, et al. Low field method for analysis of heavy oils without extraction. *17-th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM2017*. 2017. Viena, Austria, pp. 297-304.

15. Kashaev RS, Kien NT, ChV. Tung , et al. Correlation of Physicochemical Properties of Bach Ho Oils with Proton NMR Relaxation Parameters and Their Temperature Dependence. Petroleum Chemistry. 2019;59(1):21-29. doi: 10.1134/ S0965544119130073.

Authors of the publication

Nguyen Chi Kien – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia. Email: nckien@cnd.edu.vn.

Rustem S. Kashaev – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Поступила в редакцию ***30.12.2019г.***