

МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ, ВЕЩЕСТВ И ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ



УДК 621.31

DOI:10.30724/1998-9903-2025-27-1-3-15

РАЗРАБОТКА УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ ПАТРУБКОМ АНАЛИЗАТОРА ПРОТОННОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА ПМРА-IV

Дык Ань Нгуен¹, Кашаев Р.С.¹, Козелков О.В.¹, Арсланов А.Д.¹, Чан Ван Тунг²

¹Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

²Ханойский промышленный университет, г. Ханой, Вьетнам
navypro1991@gmail.com

Резюме: **ЦЕЛЬ.** Целью работы является разработка усовершенствованного программно-аппаратного комплекса управления патрубком в мехатронном анализаторе нефти ПМРА-IV. Разработка должна обеспечить точную и стабильную подачу исследуемой жидкости к ПМР-датчику при проведении многофазных анализов свойств нефти. Оборудование должно обеспечивать патрубку плавное перемещение в измерительной емкости, иметь защиту от электромагнитных помех, а также быть компактным и простым в управлении. Управление должно осуществляться с помощью программы на компьютере и пульта управления. **МЕТОД.** Для разработки был исследован принцип работы пробоотборника. По технической документации изучен принцип работы используемого электродвигателя СД-54. Исследован протокол связи между компьютером и микроконтроллером, управляющим электродвигателем. Изучен алгоритм управления для перемещения патрубка. **РЕЗУЛЬТАТЫ.** Результатом работы является разработанное компактное устройство управления патрубком. Созданы: управляющее программное обеспечение для компьютера в среде Labview, пульт управления и схемотехническое решение для увеличения помехозащищенности установки. Обеспечено плавное перемещение патрубка, управляемого с помощью пульта, либо программой на компьютере через USB-соединение. **ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Сравнение с предыдущими конструкциями показывает, что устройство пробоотбора с новой системой управления работает более точно, стабильно и плавно, а также имеет несколько способов управления. Разработка способна стабильно работать при электромагнитных помехах, возникающих из-за переключений реле или магнитного поля, возникающего вокруг двигателя. Новое устройство управления позволяет быстро и точно отбирать необходимый объем жидкости в датчик ПМР.

Ключевые слова: экспресс-контроль; ПМР-анализатор; исследование жидкости; управление патрубком; протонный магнитный резонанс.

Для цитирования: Дык Ань Нгуен, Кашаев Р.С., Козелков О.В., Арсланов А.Д., Чан Ван Тунг. Разработка усовершенствованного программно-аппаратного комплекса управления патрубком анализатора протонного магнитного резонанса ПМРА-IV // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2025. Т. 27. № 1. С. 3-15. doi: 10.30724/1998-9903-2025-27-1-3-15.

DEVELOPMENT OF AN IMPROVED SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX FOR CONTROLLING THE PIPE OF THE PROTON MAGNETIC RESONANCE ANALYZER PMRA-IV

Nguyen Duc Anh¹, Kashaev R.S.¹, Kozelkov O.V.¹, Arslanov A.D.¹, Tran Van Tung²

¹Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

²Hanoi University of Industry, Hanoi, Vietnam

navypro1991@gmail.com

Abstract: *THE PURPOSE.* The aim of the work is to develop an improved software and hardware complex for controlling the nozzle in the mechatronic oil analyzer PMRA-IV. The development should provide an accurate and stable supply of the test liquid to the PMR sensor when conducting multiphase analyzes of oil properties. The equipment must provide smooth movement of the nozzle in the measuring tank, be protected from electromagnetic interference, and also be compact and easy to operate. Control must be carried out using a program on a computer and a control panel. *METHOD.* For development, the operating principle of the sampler was investigated. Based on the technical documentation, the operating principle of the used SD-54 electric motor was studied. The communication protocol between the computer and the microcontroller that controls the electric motor has been studied. A control algorithm for moving the pipe has been studied. *RESULTS.* The result of the work is a developed compact pipe control device. Created: control software for a computer in the Labview environment, a control panel and a circuit solution to increase the noise immunity of the installation. Smooth movement of the pipe is provided using a remote control or a program on a computer via a USB connection. *CONCLUSION.* Comparison with previous designs shows that the sampling device with the new control system is more accurate, stable and smooth, and has multiple control methods. The development is capable of operating stably in the presence of electromagnetic interference arising from relay switching or the magnetic field arising around the motor. The new control device allows you to quickly and accurately select the required volume of liquid into the PMR sensor.

Keywords: *express-control; PMR-analyzer; liquid control; nozzle control; proton magnetic resonance.*

For citation: Nguyen Duc Anh, Kashaev R.S., Kozelkov O.V., Arslanov A.D., Tran Van Tung. Development of an improved software and hardware complex for controlling the pipe of the proton magnetic resonance analyzer PMRA-IV. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2025; 27 (1): 3-15. doi: 10.30724/1998-9903-2025-27-1-3-15.

Введение (Introduction)

Современным требованием нефтяной промышленности является формирование интеллектуальных цифровых нефтяных месторождений с возможностью экспресс-контроля таких свойств компонентов многофазного потока нефтяных дисперсных систем [1] как: скорости компонентов многофазного потока, концентрации воды, нефти, газа и асфальтено смол [2-4]. В [4, 5] указывается, что работникам нефтяной промышленности необходимы аппаратно-программные комплексы и экспресс-методы для определения свойств сырой нефти в процессах добычи и подготовки нефти, а также для решения задач, требующих исследовать её параметры. Распоряжение Правительства Российской Федерации №1632 «Создание экосистемы цифровой экономики по основным направлениям: новые технологии производства и компоненты робототехники» стимулировало усилия ученых по разработке импортозамещающих приборов и технологий в данном направлении.

В настоящее время требования к методам оперативного контроля стали более высокими. Среди них, например, высокая точность измерений (погрешность не должна превышать 1,5%) и универсальность (метод должен быть применим для исследования большого разнообразия видов нефти). Однако есть еще один критерий, и в большинстве случаев он становится первичным. Исследование методом экспресс-контроля не должно изменять химический состав и физическую структуру исследуемой среды. Это необходимо для получения подтвержденных данных о выявленных отклонениях в образце, что как правило возможно, при проверке качества продукции с использованием спектрометров высокого разрешения (например, многофункциональных рентгеновских, оптических и т. д.). Однако эти приборы устанавливаются в стационарных лабораториях (на значительном

расстоянии от места проведения экспресс-контроля). Кроме того, это дорогостоящее оборудование, требующее особых условий эксплуатации и довольно затратное в обслуживании [6].

Прибором, отвечающим современным техническим требованиям по доступной цене и удобным в эксплуатации, является разработанный на кафедре «Приборостроение и мехатроника» в Казанском Государственном Энергетическом Университете проточный анализатор нефти ПМРА-IV. Однако последние испытания установки показали, что скорость потока жидкости через ПМР-датчик устройства нестабильна из-за работы системы пробоотбора. Это приводит к тому, что количество пробы жидкости, поступающей в датчик, невозможно отрегулировать с необходимой точностью. На основе описанной проблемы определяется цель исследования.

Целью исследования является разработка усовершенствованного устройства управления патрубком пробоотборника в проточном экспресс-анализаторе нефти ПМРА-IV. Усовершенствованное оборудование должно быть компактным по размерам, простым в управлении, обеспечивать плавное перемещение патрубка в пробоотборнике анализатора и иметь защиту от электромагнитных помех, возникающих при работе установки.

Научная значимость исследования заключается в разработке нового алгоритма управления, который позволяет плавно регулировать положение патрубка в системе пробоотбора. Алгоритм основан на управлении направлением вращения однофазного синхронного электродвигателя типа СД-54 и контроле фактического положения патрубка с помощью недорогого микроконтроллера (МК), а также самостоятельно разработанного программного обеспечения (ПО) на основе языка G в среде LabVIEW.

Практическая значимость исследования заключается в разработке устройства управления с недорогими комплектующими для уменьшения затрат производства. Обеспечение плавного управления патрубком пробоотборника ПМРА-IV и повышение точности измерений для соответствия современным технологическим требованиям.

Литературный обзор (Literature Review)

В публикациях [10-14] представлена идея мехатронного технологического устройства для экспресс-контроля параметров сырой нефти на базе протонной магнитно-резонансной (далее ПМР) релаксометрии. В период 2021–2022 годов на кафедре "Приборостроение и мехатроника" Казанского Государственного Энергетического Университета по этим идеям был создан программно-электромеханический комплекс оборудования (АРС-III) [16, 17] для экспресс-контроля сырой нефти. В этом оборудовании количество пробы поступает на ЯМР-датчик за счет разницы давлений потока между трубой и патрубком. Это значит, что процесс пробоотбора не поддается контролю и полностью зависит от потока.

В работе [13] автор Кашаев Р.С. с коллегами представили комплекс мехатронных устройств для анализа жидкостей ПМРА-IV. Устройство для пробоотбора управляется электронной платой *Atmel STK500*. Это устаревшая плата с большими габаритами и микроконтроллером неактуальным на рынке, где управление зависит от предустановленной программы, которую невозможно открыто редактировать.

Примечательной особенностью названных устройств является то, что забор образцов осуществляется путем оперативного отбора сырой нефти из небольших участков трубопровода в проточном режиме, где скорость пробоотбора нельзя регулировать. Следовательно, объем исследуемой жидкости, поступающей на ПМР-датчик, в разное время неодинаков, что приводит к неточным результатам. Кроме того, патрубок устройства для пробоотбора можно поднимать (опускать) только до конца хода.

На основе анализа представленных исследований показано, что разработка программно-аппаратных устройств для управления патрубком пробоотборника является важной задачей. Это имеет значение не только для усовершенствования комплекса анализа жидкостей ПМРА-IV, но и для аналогичного оборудования, которое может быть разработано в будущем.

Материалы и методы (Materials and methods)

К настоящему времени коллективом авторов была разработана 4-я версия ПМР-анализатора ПМРА-IV [11, 12] (рис. 1). Метод импульсного ядерного магнитного резонанса (далее ЯМР) [7, 8], используемый в ПМРА-IV, обладает большими, еще не раскрытыми в полной мере возможностями для экспресс-анализа характеристик водонефтяных эмульсий. Определение характеристик нефтяных проб с использованием методов ЯМР является обширной научной тематикой [9]. Экспресс-методы контроля нефти – это одна из ключевых тем исследований в нефтяной инженерии, и ЯМР – анализ является наиболее перспективной технологией, способной решить поставленные задачи данного направления. Широкие возможности ядерной (протонной) магнитно-резонансной релаксометрии (далее ПМРР) для

определения параметров нефтей были продемонстрированы в публикации [10], и было установлено, что ПМРР уникален для экспресс-контроля эмульсий.

Структурно-функциональная схема проточного мехатронного анализатора жидкости ПМРА-IV включает: 1 – измерительная емкость, 2 – патрубок, 3 – магнит для предварительного намагничивания жидкости, 4 – измерительная РЧ-катушка, 5 – измерительный магнит, 6 – электропривод, 7 – система управления патрубком, 8 – манометр, 9 – термометр, 10 – электронный блок релаксометра ПМР, 11 – плата *Atmel STK500*, 12 – емкость для слива измеренной жидкости, 13 – ноутбук, 14 – выносной пульт управления анализатором.

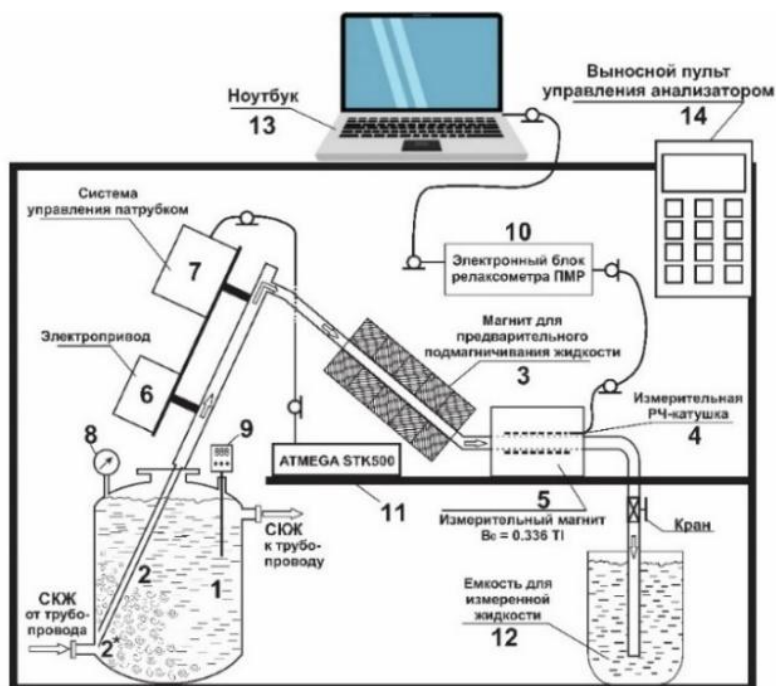


Рис. 1. Структурно-функциональная схема проточного мехатронного анализатора жидкости ПМРА-IV

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Устройство, используемое для перемещения пробы жидкости из емкости к датчику ПМР-релаксометра под действием перепада давления ($P_{тр} - P_{п}$) между трубопроводом и патрубком основан на уравнении Бернулли [13-15], согласно которому при непрерывном течении изменение давления P_i в различных сечениях S мерника для скорости потока v_i описывается уравнением:

$$\frac{P_i}{\rho} + \frac{v_i^2}{2g} = \text{const}$$

Если расход $Q_i = S_i \cdot v_i$ постоянен, то давления P_1 и P_2 в разных сечениях S_1 и S_2 трубы будут связаны уравнением:

$$\frac{P_i}{\rho} + \frac{\text{const}}{S_i^2} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{\text{const}}{S_2^2}$$

Устройство пробоотбора представляет собой комбинацию мехатроники, управляемую с помощью микроконтроллера (рис. 2).

Механическая часть устройства установлена на алюминиевой опоре, на монтажном кронштейне привода с патрубком. Привод позволяет патрубку перемещаться в измерительной емкости тем самым создавая перепад давлений жидкости в трубопроводе и патрубке. Привод выполнен на базе однофазного синхронного электродвигателя СД-54 (3). Дифференциальные шестерни (7) передают движение вала двигателя на приводной вал ходового винта (9) через штифт (8), установленный на приводном валу, который преобразует вращение ходового винта в возвратно-поступательное движение (вперед – назад, представлено на рисунке 2 или вверх – вниз, представлено на рисунке 1). Шатун (11) соединяет патрубок со штифтом на ходовом винте, позволяя перемещать патрубок соответственно смещению штифта. Энкодер (10) является дополнительным устройством для усовершенствованного оборудования, установленным на конце ходового винта для

определения расстояния перемещения патрубка. Энкодер (10) состоит из тонкого медного диска с 25 равномерно расположенными прорезями и 1-канального оптического приемопередатчика.

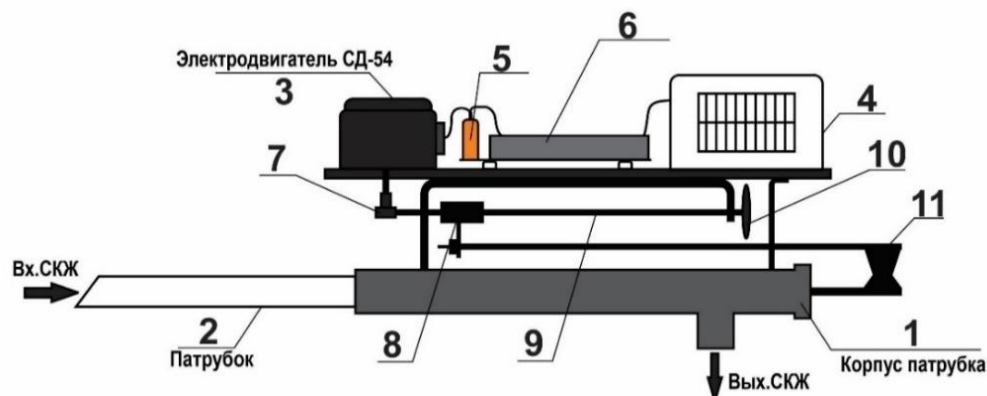


Рис. 2. Структурно-функциональная схема устройства управления патрубком: 1 – корпус патрубка, 2 – патрубок, 3 – электродвигатель СД-54, 4 – блок преобразователя питания, 5 – возбуждающий конденсатор, 6 – Интегральная плата драйвера управления двигателем, 7 – дифференциальные шестерни, 8 – штифт, 9 – ходовой винт, 10 – энкодер, 11 – шатун

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Часть управляющего устройства расположена на плате *Atmel STK500* (рис. 3). Плата имеет разъемы, позволяющие использовать 8-контактные, 20-контактные, 28-контактные и 40-контактные микроконтроллеры семейства AVR. В существующей конструкции используется микроконтроллер *ATmega 8515* в корпусе типа *DIP-40*. Плата *Atmel STK500* содержит кнопки и разъемы для подключения периферийных устройств. Она имеет возможность связываться с компьютером через интерфейс RS232.



Рис. 1. Плата *Atmel STK500*

Fig. 3. *Atmel STK500* board

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Плата *Atmel STK500* имеет большой размер, использует микроконтроллер старой версии (*ATmega 8515*), имеет низкую скорость передачи данных по протоколу RS232, что приводит к техническим ограничениям проточного мехатронного анализатора жидкости ПМРА-IV.

Для приведения в действие патрубка используется электродвигатель типа СД-54 (рис. 4.а). Этот тип конденсаторного синхронного реактивного двигателя с короткозамкнутым ротором используется во многих областях науки и техники. Двигатель оснащен коробкой редуктора с передаточным числом 25/1 для достижения конечной скорости вращения 60 об/мин. Двигатель может быть подключен к источнику питания 127 В

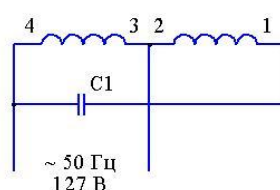
50 Гц или 220 В 50 Гц. В соответствии с используемым источником питания будут использоваться разные схемы подключения (рис. 4.б и 4.в), где 1, 2 – контакты катушки возбуждения, 3, 4 – контакты катушки управления. Конденсаторы также подключены к катушкам как для возбуждения, так и для управления направлением вращения двигателя. Таким образом, просто изменяя параметры, тока, емкости и индуктивности в цепи можно управлять двигателем для изменения скорости или направления вращения.

В нашей работе мы выбрали схему, показанную на рисунке 4.в, для подключения двигателя к источнику питания 220В/50Гц и управления направлением вращения двигателя путем изменения положения конденсаторов $C1$ и $C2$ друг относительно друга. Двигатель будет вращаться вперед, если конденсатор $C1$ подключен к контактам катушки управления (контакты 3, 4), и двигатель будет вращаться назад, если к контактам 3, 4 катушки управления подключен конденсатор $C2$. Переключения производятся с помощью реле [18].



(а)

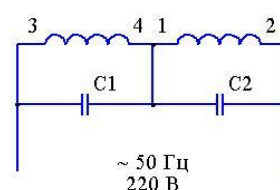
Схема включения двигателя на 127 В, 50 Гц



$C1$ - МБГТ-300В-1мкФ±10%

(б)

Схема включения двигателя на 220 В, 50 Гц



$C1$ - МБГЧ-1-2А-250-0,5±10%
 $C2$ - МБГЧ-1-2А-250-2,0±10%

(в)

Рис. 4. Однофазный синхронный электродвигатель типа СД-54 (а) и схемы подключения двигателя к питаниям (б), (в) Fig. 4. Single-phase synchronous electric motor type SD-54 (a) and the motor connection diagram to the power supply (b), (c)

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

На рисунке 5 показана функциональная схема системы управления патрубком усовершенствованного пробоотборника для анализатора ПМРА-IV. Команда для управления подъемом (опусканием) патрубка подается на микроконтроллер с пульта управления или ноутбука, МК создает сигналы управления двигателем СД-54 через драйвер. Затем двигатель работает таким образом, чтобы обеспечить перемещение патрубка вверх или вниз. Направление перемещения патрубка зависит от направления вращения двигателя. Данные о перемещении патрубка передаются обратно в МК по цепям обратной связи и отображаются на ЖК-дисплее пульта или интерфейсе ПО на компьютере.

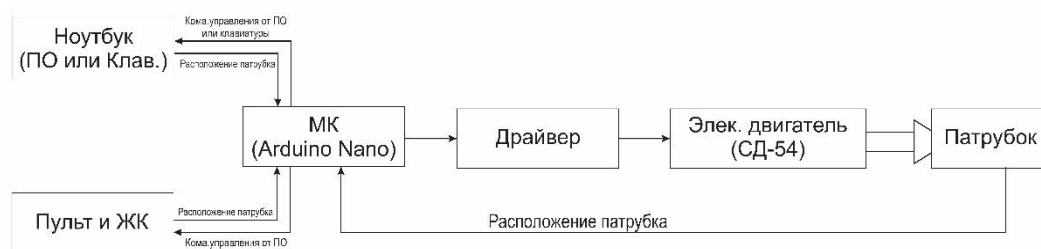


Рис. 5. Функциональная схема системы управления патрубком Fig. 5. Functional diagram of the nozzle control system

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Для управления устройством с компьютера используется шина данных USB. Она состоит из четырёх линий: двух проводников питания и двух проводников данных в витой паре. С помощью кабелей формируется интерфейс между USB-устройствами и USB-хостом. В качестве хоста выступает программно-управляемый USB-контроллер на стороне компьютера, который обеспечивает функциональность всего интерфейса.

На логическом уровне устройство USB поддерживает транзакции приёма и передачи данных. Каждый пакет каждой транзакции содержит в себе номер конечной точки

(*endpoint*) на устройстве. При подключении устройства драйверы в ядре операционной системы (ОС) читают с устройства список оконечных точек и создают управляющие структуры данных для общения с каждой оконечной точкой устройства.

Время шины делится на периоды, в начале периода контроллер передаёт всей шине пакет «начало периода». Далее в течение периода передаются пакеты прерываний, потом изохронные в требуемом количестве, в оставшееся время в периоде передаются управляющие пакеты и в последнюю очередь – поточные [20].

Размер пакета для оконечной точки – это константа, встроенная в таблицу оконечных точек устройства и изменению не подлежит. Он выбирается разработчиком устройства из числа тех, что поддерживаются стандартом *USB*.

Результаты (Results)

Управляющее устройство

Часть блока управления заменена на более производительное и современное устройство (рис. 6) с возможностью подключения к компьютеру, при том, что ее габариты значительно меньше, чем у печатной платы *Atmel STK500*. Теперь новая версия может быть расположена с обратной стороны алюминиевого корпуса анализатора.

Новая плата управления представляет собой устройство на базе микроконтроллера *ATmega328*, интегрированного в отладочную плату *Arduino Nano* и имеет лучшие характеристики по большинству параметров в сравнении с предыдущим вариантом. К тому же микроконтроллер, использованный в предыдущей версии устройства управления, морально устарел и не подходит для новых промышленных экземпляров установки ввиду отсутствия стабильных поставок на рынке, что также обосновывает переход на новый популярный МК.

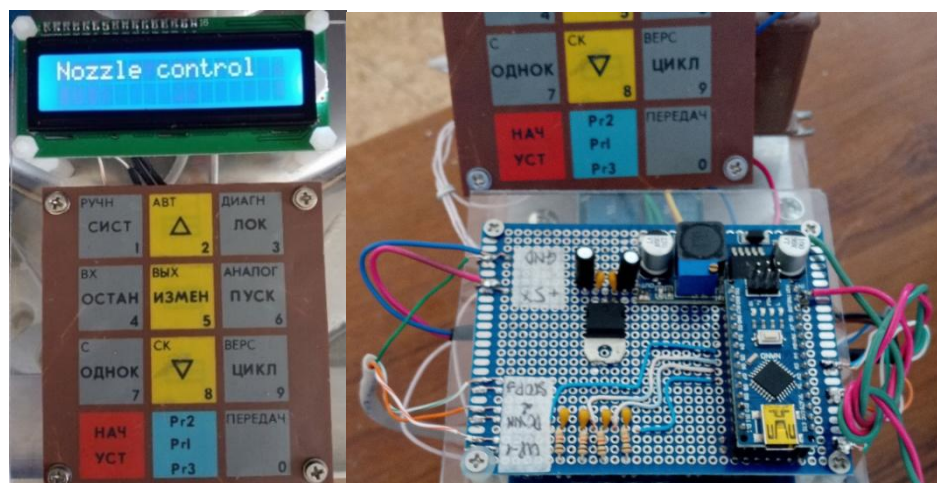


Рис. 6. Пульт контроля и управления на базе интегрированного микроконтроллера *ATmega328* на *Arduino Nano*

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Пульт управления на базе нового микроконтроллера представляет собой клавиатуру формата 3x4 с 12-ю кнопками, подключенную к *Arduino Nano* для установки параметров и управления перемещением патрубка. На пульте устройства управления также расположен ЖК-дисплей для отображения состояния перемещения и расстояния, на которое переместился патрубок. Основным компонентом этой части является интегральная микросхема драйвера управления двигателем. МК работает от понижающего стабилизатора питания, поскольку все устройство питается от сети 220В.

Схемотехника системы пробоотбора

На рисунке 7 представлена схема управления электродвигателем. Сигналы управления на данной схеме передаются на двигатель СД-54 через драйверы, состоящие из 6 реле с 2 контактами. Реле изолированы от МК с помощью оптопар *PC817*. Таким образом создается защита от электромагнитных помех, возникающих при замыкании и размыкании контактов реле, что помогает МК работать стабильно. Двигатель СД-54 подключен к сети питания 220 В, 50 Гц, поэтому выбирается схема, где 2 конденсатора *C4* и *C6* (*C4* – МБЧГ-1-2А-250В-0,5±10% мкФ; *C6* – МБЧГ-1-2А-250В-2,0±10% мкФ) подключаются к 2 катушкам двигателя и приводу для управления направлением вращения двигателя.

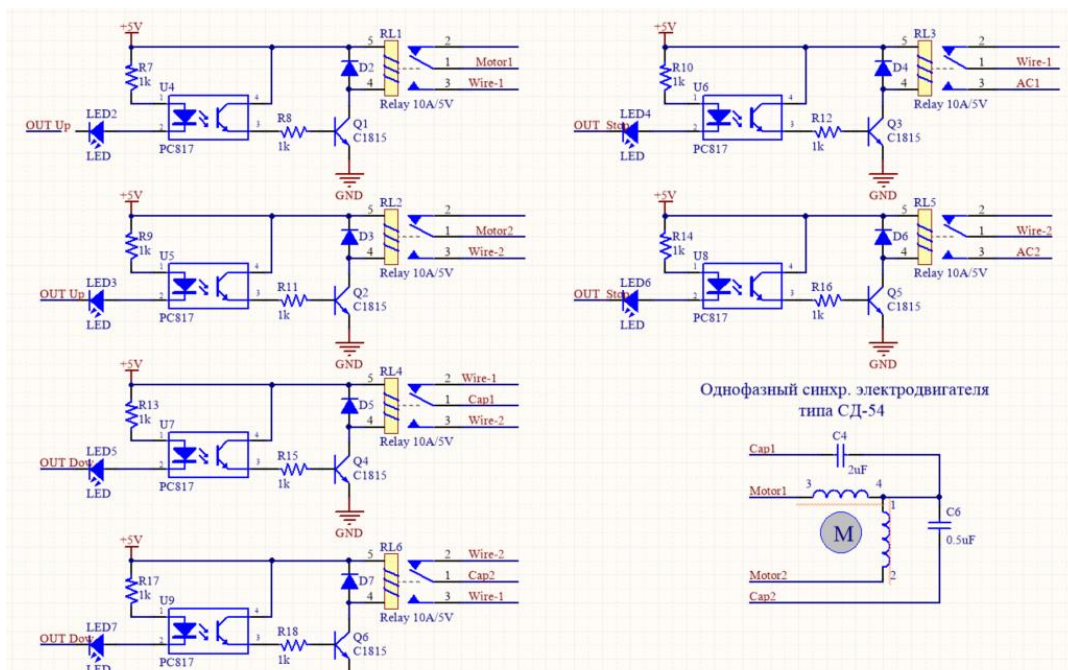


Рис. 7. Принципиальная электрическая схема однофазного синхронного электродвигателя и драйвера

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Принципиальная схема преобразователя питания показана на рисунке 8. На рисунке 9 приводится его реальный вид.

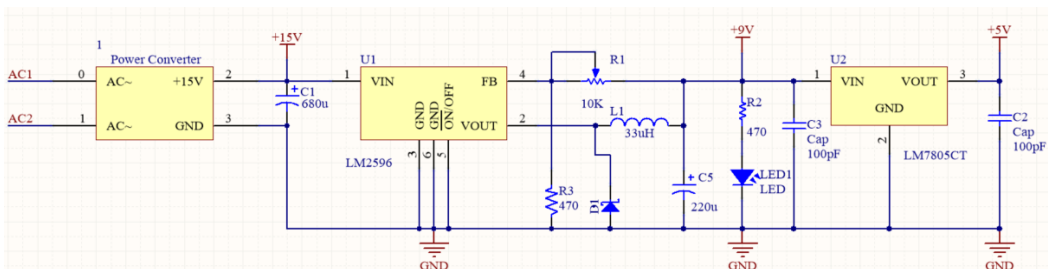


Рис. 8. Принципиальная схема преобразователя низкого напряжения от 15В до 9В и 5В

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.



Рис. 9. Преобразователь переменного тока 220 В в постоянный ток 15В

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Источник питания от преобразователя переменного тока 220В/50Гц в постоянный ток 15В/2,8А дополнительно понижен до 9В для *Arduino Nano* и 5В для драйверов, энкодера и пульта управления. Поскольку силовой преобразователь использует в качестве компонентов множество катушек индуктивности и импульсных трансформаторов, во время работы он

создает большое количество электромагнитных шумов, интенсивность которых может повлиять на работу МК. Чтобы устранить этот шум, преобразователь обернут тонкой алюминиевой фольгой, что позволяет использовать эффект клетки Фарадея для ограничения и устранения помех.

Перед работой устройства необходимо подключить преобразователь напряжения к электрической сети 220В. При подключении к сети на плате загорается светодиод сигнализируя от том, что устройство готово к работе. На пульте управления следует обратить внимание на 3 кнопки: 1 – вперед, 2 – назад и 3 – стоп (обозначения остальных кнопок соответствуют клавиатуре, предназначенной для управления всего анализатора ПМРА-IV). Управляющий сигнал и значение перемещения патрубка отображаются на ЖК-дисплее. Значение, отображаемое на ЖК-дисплее, изменяется от 0 до 13 и наоборот, что соответствует расстоянию, на которое можно переместить патрубок (0-13 см). Алгоритм управления патрубком пробоотборника следующий:

В исходном состоянии патрубок находится в нижнем положении в измеряемой жидкости, что соответствует расстоянию перемещения 0 см. В это время алгоритм на МК позволяет только поднимать патрубок. При нажатии на кнопку 1 (вперед) на пульте управления включается двигатель и через приводной механизм поднимается патрубок. В это время энкодер вращается вдоль оси ходового винта и преобразовывает скорость вращения энкодера в расстояние перемещения патрубка. Значение перемещения отображается на жидкокристаллическом дисплее вместе со статусом перемещения патрубка. Таким образом, патрубок постепенно поднимается до конца хода. В конце хода (13 см) двигатель прекращает работу по команде управления МК. В данном случае оператор может лишь нажать кнопку 2, чтобы повернуть вращение двигателя вспять и опустить патрубок. Чтобы остановить двигатель оператору необходимо нажать кнопку 3 – стоп. Точно так же плавно можно регулировать положение патрубка вдоль всей оси до тех пор, пока в ПМР-датчик не поступит необходимое количество пробы.

Программное обеспечение системы управления пробоотбором

Прибором изменения положения патрубка также можно управлять с ноутбука с помощью интерфейса управляющего программного обеспечения (рис. 10), через USB-соединение между ноутбуком и *Arduino Nano*. Управляющее ПО построено на платформе *LabVIEW*, языком программирования в виде блок-схем, который позволяет внедрять программы и управляющее программное обеспечение с высокой совместимостью с различными периферийными устройствами. Программное обеспечение состоит из 2 блоков: ПОДКЛЮЧЕНИЕ и УПРАВЛЕНИЕ. В блоке подключения по умолчанию установлена скорость передачи данных между ноутбуком и *Arduino Nano* с baudrate 115200. Окно «*VISA resource name*» используется для выбора COM-порта. Кнопка СТОП используется для остановки и выхода из программы управления. В блоке управления расположены кнопки "ВПЕРЕД", "НАЗАД", "СТОП" с подсветкой, отображающей состояние кнопки. Эти кнопки соответствуют кнопкам на пульте управления. Встроена горизонтальная градуированная шкала с соответствующим окном отображения значений, используемая для отображения относительного положения патрубка.

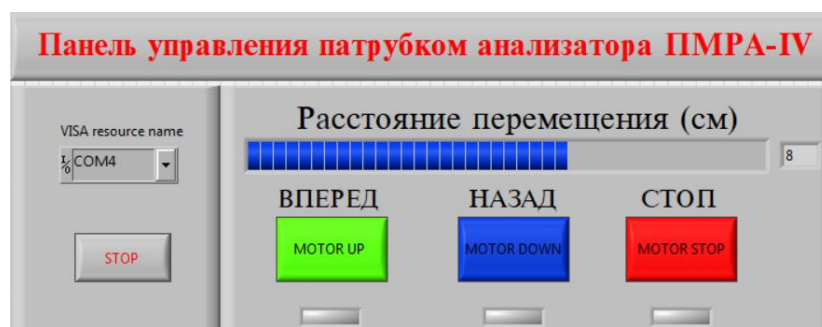


Рис. 10. Интерфейс управляющего программного обеспечения Fig. 10. Control software interface

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Алгоритм управления патрубком пробоотборника в этом случае работает с помощью самостоятельно разработанного программного обеспечения (рис. 11), аналогичного управлению с пульта. Кроме того, управляющие команды можно устанавливать с клавиатуры ноутбука. Кнопки *U-Up*-ВПЕРЕД, *S-Stop*-СТОП, *D-Down*-НАЗАД соответствуют командам управления. Эти управляющие команды передаются с ноутбука на

Arduino Nano по последовательной связи USB в соответствии с принципом "Ведущий-ведомый".

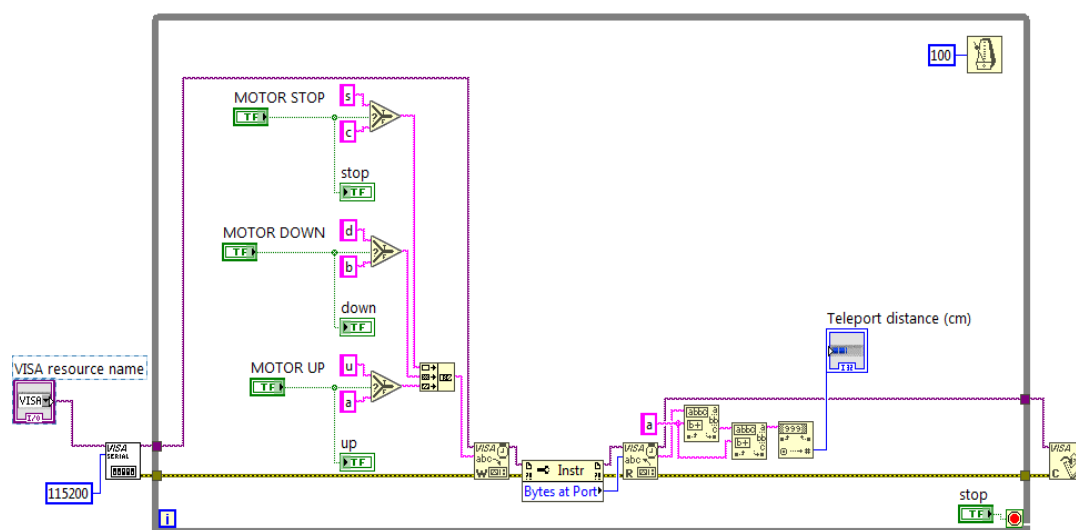


Рис. 11. Программа управления патрубком в среде LabView Fig. 11. Nozzle control program in LabView environment

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Заключение (Conclusions)

Эффективность добычи и обработки нефти в нефтяной промышленности напрямую зависит от качества диагностики скважинной жидкости. Неразрушающий контроль позволяет получать оперативную информацию, необходимую для оптимизации технологических процессов на данных предприятиях, что в свою очередь позитивно влияет на экономический фактор соответствующих производств. Поэтому разработка измерительного оборудования и приборов для контроля проб в процессах добычи нефти имеет важное научное и практическое значение для удовлетворения потребностей развития в отечественном нефтепромысле.

В связи с необходимостью обеспечения эффективного контроля нефти, учеными из Казанского Государственного Энергетического Университета была проведена разработка проточного анализатора нефти ПМРА-IV. Испытания показали, что система пробоотбора, используемая для подачи образцов на датчик ранее, была неэффективной. В рамках работы, описанной в данной статье, было проведено исследование для усовершенствования этой установки.

К основным результатам исследовательской работы относятся следующие пункты:

1. Усовершенствовано оборудование пробоотбора для ПМРА-IV, которое обеспечивает точный плавный забор нефти из любой трубы при любом расходе и позволяет регулировать объем проб;
2. Усовершенствован механизм управления электроприводом двигателя, который способен стабильно работать в условиях электромагнитных помех, создаваемых двигателем и преобразователем питания;
3. Создан алгоритм для плавного изменения положения патрубка в системе пробоотбора ПМРА-IV;
4. Разработан компактный программно-аппаратный комплекс для управления патрубком на основе МК ATmega и ПО LabVIEW с возможностью контроля пультом управления или ПО на компьютере.

Литература

1. Кашаев, Р. С. Аппаратура и методики ЯМР-анализа нефтяных дисперсных систем. Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, Germany: Ядерная физика, 2012. С.100-112.
2. Воробьев А.Е., Тчаро Х., Воробьев К.А. Цифровизация нефтяной промышленности: «интеллектуальный» нефтепромысел // Вестник Евразийской науки. 2018. №3. Том 10. С.71-86.
3. Нюхлов А.С., Татаринцева Ю.В., Харитонов К.А., и др. Преимущества использования технологии smart-field для повышения эффективности регионального управления предприятий нефтегазовой отрасли Красноярского края // Современные тенденции развития науки и производства:

сборник материалов VI Международной научно-практической конференции (5 июля 2017 года), Том II – Кемерово: ЗапСибНЦ, 2017. С. 77-79.

4. Сафиуллин Б.Р., Козелкова В.О., Кашаев Р.С., и др. Очистка нефти от асфальтено-смола и парафинов // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2022. Т.24. № 5. С. 166-178.

5. Н. Т. Киен, Ч. В. Тунг, Р. С. Кашаев. Определение параметров скважинной жидкости проточным ПМР-анализатором // IV Национальной н/пр. конф. ПАЭТЭКЖКХ. (Казань 6-7 декабря 2018 г.). - Казань, 2018. - Т.1. - С. 147-150.

6. A. Karseev, V. Vologdin, V. Davydov, Features of nuclear magnetic resonance signals registration in weak magnetic fields for express – control of biological solutions and liquid medium by nuclear magnetic spectroscopy method, Journal of Physics: Conference Series. Volume 643-2015.

7. Ч. В. Тунг Последовательность Карра-Парселла для измерений времен спин-спиновой релаксации T2 // V Национальная конференция «Приборостроение и автоматизированный электропривод». (Казань 12-13 декабря 2019 г.). -Казань, 2019. - Т.1. - С. 147-150.

8. Чан Ван Тунг, Кашаев Р.С. Радиочастотный генератор и программа импульсных последовательностей релаксометра ПМР // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020. Т. 22. № 3. С. 90-96.

9. O.V. Kozelkov, A.G. Michailov, V.O. Kozelkova, et al., “Technologies of express-control apparatus-programmable complex on the base of PMR”, Russ. Chemical Technology, V.23, №3, 2022, pp.131-137.

10. N.G. Min, M. Ku, J. Yang, et al., “Microfluidic production of uniform microcarriers through phase separation in emulsion droplets”, Chemistry of Materials 2016 28 (5), pp. 1430-1438.

11. 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 топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве, Казань, ФГБОУ ВО КГЭУ, 6-7 декабря 2018 г. С 147–150.

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

13. Kashaev, R.; Anh, N.D.; Kozelkova, V.; et al. Online Multiphase Flow Measurement of Crude Oil Properties Using Nuclear (Proton) Magnetic Resonance Automated Measurement Complex for Energy Safety at Smart Oil Deposits. Energies 2023, 16(3), 1080.

14. Корнеев С.А., Корнеев В.С., Пеньков И.А., Трибельский М.И. Методика и результаты статических испытаний резинокордного патрубков для соединения трубопроводов // ОНВ. 2014. №2 С.139-145.

15. Kashaev R.S. Apparature and NMR-method of oil disperse systems analysis. Lambert Academic publishing (LAP). GmbH&Co.KG, Saarbrücken, Germany, 2012. pp.92.

16. G.A. Ovseenko, O.V. Kozelkov, R.S. Kashaev, et al. “Apparatus for on-line structure-dynamical analysis of oils by nuclear magnetic resonance relaxometry method”. Internat. Conf. «Scientific research of the SCO countries: synergy and integration». Beijing, PRC, Abstracts. Sept.15, 2021, pp. 190-194.

17. Kashaev R.S., Nguyen D.A., Kozelkov O.V. Apparatus-program complex for on-line express-control of crude oils properties by proton magnetic resonance method. Practice Oriented Science: UAE - RUSSIA - INDIA. Proceedings of the International University Scientific Forum. UAE, 2023. pp. 213-220.

18. Гинзбург М. Я. Возможности увеличения эффективности добычи нефти установками электроприводных насосов за счет оптимизации кодификации оборудования в Общероссийских классификаторах основных фондов // Территория Нефтегаз. 2018. №7–8. С.64-75.

19. Kurilin A., USB is easy. Switching from RS-232 to USB // Components and Technologies. 2005. N49.Pt.1. pp. 114–117.

20. Башлыков Александр Особенности реализации протокола usb в микроконтроллерах LPC214x производства Philips // Компоненты и Технологии. 2005. №51. С.106 – 108.

Авторы публикации

Нгуен Дык Ань – аспирант кафедры «Приборостроение и мехатроника», Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия. ORCID: <http://orcid.org/0009-0005-8870-3855>. Email: navypro1991@gmail.com

Кашаев Рустем Султанхамитович – д-р техн. наук, профессор кафедры «Приборостроение и мехатроника», Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8582-1577>. Email: kashaev2007@yandex.ru

Козелков Олег Владимирович – д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Приборостроение и мехатроника», Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6067-8719>. Email: ok.1972@list.ru

Арсланов Амир Динарович – аспирант кафедры «Приборостроение и мехатроника», Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2128-6258>. Email: arslanovad97@gmail.com

Чан Ван Тунг – канд. техн. наук, преподаватель, Ханойский промышленный университет, г. Ханой, Вьетнам. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6057-2367>. Email: tungtv@hau.edu.vn

References

1. Kashaev, R. S. Apparatura i metodiki YaMR-analiza neftyanykh dispersnykh sistem. Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, Germany: Yadernaya fizika, 2012. S.100-112. (In Russ).
2. Vorob'ev A.E., Tcharo Kh., Vorob'ev K.A. Tsifrovizatsiya neftyanoi promyshlennosti: «intelektual'nyi» neftepromysel // Vestnik Evraziiskoi nauki. 2018. №3. Vol 10. S.71-86 (In Russ).
3. Nyukhlov A.S., Tatarintseva Yu.V., Kharitonov K.A., et al. Preimushchestva ispol'zovaniya tekhnologii smart-field dlya povysheniya effektivnosti regional'nogo upravleniya predpriyatii neftegazovoi otrasli Krasnoyarskogo kraia // Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i proizvodstva: sbornik materialov VI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (5 iyulya 2017 goda), Tom II – Kemerovo: ZapSibNTs, 2017. S. 77-79. (In Russ).
4. Safiullin B.R., Kozelkova V.O., Kashaev R.S., et al. Ochistka nefti ot asfal'teno-smol i parafinov // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. PROBLEMY ENERGETIKI. 2022. T.24. № 5. S. 166-178. (In Russ).
5. N. T. Kien, Ch. V. Tung, R. S. Kashaev. Opredelenie parametrov svazhinnoi zhidkosti protochnym PMR-analizatorom // IV Natsional'noi n/pr. konf. PAETEKZhKKh. (Kazan' 6-7 dekabrya 2018 g.). - Kazan', 2018. - T.1. - S. 147-150. (In Russ).
6. A. Karseev, V. Vologdin, V. Davydov, Features of nuclear magnetic resonance signals registration in weak magnetic fields for express – control of biological solutions and liquid medium by nuclear magnetic spectroscopy method, Journal of Physics: Conference Series, Volume 643-2015. doi: 10.1088/1742-6596/643/1/012108
7. Ch. V. Tung Posledovatel'nost' Karra-Parsella dlya izmerenii vremen spin-spinovoi relaksatsii T2 // V Natsional'naya konferentsiya «Priborostroenie i avtomatizirovannyi elektroprivod». (Kazan' 12-13 dekabrya 2019 g.). -Kazan', 2019. - T.1. - S. 147-150. (In Russ).
8. Chan Van Tung, Kashaev R.S. Radiochastotnyi generator i programma impul'snykh posledovatel'nostei relaksometra PMR // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. PROBLEMY ENERGETIKI. 2020. T. 22, № 3. S. 90-96. (In Russ).
9. O.V. Kozelkov, A.G. Michailov, V.O. Kozelkova, et al., “Technologies of express-control apparatus-programmable complex on the base of PMR”, Russ. Chemical Technology, V.23, №3, 2022, pp.131-137.
10. N.G. Min, M. Ku, J. Yang, et al., “Microfluidic production of uniform microcarriers through phase separation in emulsion droplets”, Chemistry of Materials 2016 28 (5), pp. 1430-1438. DOI: 10.1021/acs.chemmater.5b04798
11. Kien N.T., Tung Ch.V., Kashaev R.S. Opredelenie parametrov skvazhinnoi zhidkosti protochnym PMR-Analizatorom // Materialy dokladov 4 Povolzhskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. Priborostroenie i avtomatizirovannyi elektroprivod i toplivo-energeticheskoy komplekse i zhilishchno-kommunal'nom khozyaistve, Kazan', FGBOU VO KGEU, 6-7 dekabrya 2018 g. S 147– 150. (In Russ).
12. Kashaev R.S., Tung Ch.V., Kien N.T., et al. Protochnyi analizator nefti na baze protonnogo magnitnogo rezonansnogo relaksometra // Sbornik nauchnykh trudov po materialam 1 Mezhd. n/pr. konferentsii, 30 iyunya 2018 goda, g. Smolensk. S.89-90. (In Russ).
13. Kashaev, R.; Anh, N.D.; Kozelkova, V.; et al. Online Multiphase Flow Measurement of Crude Oil Properties Using Nuclear (Proton) Magnetic Resonance Automated Measurement Complex for Energy Safety at Smart Oil Deposits. Energies 2023, 16, 1080; <https://doi.org/10.3390/en16031080>
14. Корнеев С.А, Корнеев В.С., Пеньков И.А., Трибельский М.И. Procedure and Results of Static Tests of Rubber-Cord Pipe Connection for Pipeline Connection.OHB. 2014. №2:139-145. (in Russ).
15. Kashaev R.S. Apparatura and NMR-method of oil disperse systems analysis. Lambert Academic publishing (LAP). GmbH&Co.KG, Saarbrücken, Germany, 2012. pp.92.
16. G.A.Ovseenko, O.V.Kozelkov, R.S.Kashaev, et al.; “Apparatus for on-line structure-dynamical analysis of oils by nuclear magnetic resonance relaxometry method”. Internat. Conf. «Scientific research of the SCO countries: synergy and integration». Beijing, PRC, Abstracts. Sept.15, 2021, pp. 190-194.
17. Kashaev R.S., Nguyen D.A., Kozelkov O.V. Apparatus-program complex for on-line express-

control of crude oils properties by proton magnetic resonance method. Practice Oriented Science: UAE - RUSSIA - INDIA. Proceedings of the International University Scientific Forum. UAE, 2023. pp. 213-220.

18. Ginzburg M. Y. Possibilities of Increasing the Efficiency of Oil Production by Electric Drive Pumps Units by Optimizing the Codification of Equipment in the All-Russian Classifiers of Fixed Assets. Territory Neftegaz. 2018; 7–8: 64–75. (In Russ).

19. Kurilin A., USB is easy. Switching from RS-232 to USB // Components and Technologies. 2005. N49. Pt.1. pp. 114–117.

20. Башлыков А. Features of the USB protocol implementation in LPC214x microcontrollers manufactured by Philips. Components & Technologies. 2005; 51: 106–108. (In Russ).

Authors of the publication

Nguyen Duc Anh – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia. ORCID: <http://orcid.org/0009-0005-8870-3855>. Email: navypro1991@gmail.com

Rustem S. Kashaev – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8582-1577>. Email: kashaev2007@yandex.ru

Oleg V. Kozelkov – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6067-8719>. Email: ok.1972@list.ru

Amir D. Arslanov – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2128-6258>. Email: arslanovad97@gmail.com

Tran Van Tung – Hanoi University of Industry, Hanoi, Vietnam. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6057-2367>. Email: tungtv@hau.edu.vn

Шифр научной специальности: 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды

Получено 04.05.2024 г.

Отредактировано 28.10.2024 г.

Принято 01.11.2024 г.