

НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ

PETROLEUM ENGINEERING AND PROJECT MANAGEMENT

Научная статья
УДК 550.832.543
<https://doi.org/10.24143/1812-9498-2024-2-30-36>
EDN LZESS

Предложение по модернизации импортозамещающей геофизической аппаратуры «АИНК-ПЛ» производства Научно-исследовательского института автоматики имени Н. Л. Духова⁴

*Елена Валерьевна Егорова[✉],
Владислав Александрович Швырев, Татьяна Сергеевна Силкина*

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, egorova_ev@list.ru[✉]*

Аннотация. Геофизические методы исследования активно применяются при разведочных работах месторождений углеводородного сырья, особенностью которых является удаленность изучаемых объектов от точки наблюдателя. Главной целью геофизических исследований является получение, передача, переработка информации о рельефе, составе грунта, количестве и расположении грунтовых вод. Такие исследования проводятся по окончании бурения скважины точного интервала разреза с помощью спускаемых в скважину на специальном геофизическом кабеле устройств. В настоящее время активно разрабатывается аппаратура, которая помогает геофизикам определять параметры пород в процессе бурения скважины. Сигналы, полученные в скважинах, передаются на поверхность при помощи специальных встроенных преобразователей на колонне бурительных труб по встроенному в колонну кабелю. Разработка новых, инновационных, современных приборов для геофизических исследований характеризуется усложнением аппаратуры с расширением параметров, задач для выполнения комплекса геофизических исследований. Предложен ряд модернизаций прибора аппаратуры импульсного нейтронного гамма-спектрометрического каротажа, которые смогут довести существующую отечественную аппаратуру до уровня новейших западных аналогов. Схема импульсного гамма-нейтронного прибора с калибратором T100 является уникальной в отрасли. Данная схема позволяет обеспечить многоточечную калибровку чувствительности к нефти и газу, откалиброванную производительность каротажа в соответствии с заводскими спецификациями и согласованность измерений между инструментами независимо от возраста инструмента или условий эксплуатации скважины.

Ключевые слова: геофизические исследования, импульсный гамма-нейтронный каротаж, каротаж

Для цитирования: *Егорова Е. В., Швырев В. А., Силкина Т. С.* Предложение по модернизации импортозамещающей геофизической аппаратуры «АИНК-ПЛ» производства Научно-исследовательского института автоматики имени Н. Л. Духова // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2024. № 2. С. 30–36. <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2024-2-30-36>. EDN LZESS.

Original article

Proposal for the modernization of import-substituting geophysical equipment "AINK-PL" production **N. L. Dukhov Scientific Research Institute of Automation**

Elena V. Egorova[✉], *Vladislav A. Shvyrev*, *Tatyana S. Silkina*

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, egorova_ev@list.ru*[✉]

Abstract. Geophysical research methods are actively used in the exploration of hydrocarbon deposits, the peculiarity of which is the remoteness of the studied objects from the observer's point. The main purpose of geophysical research is to obtain, transmit, and process information about the topography, soil composition, and quantity and location of groundwater. Such studies are carried out at the end of drilling the well of the exact cut interval using devices lowered into the well on a special geophysical cable. Currently, equipment is being actively developed that helps geophysicists determine the parameters of rocks during the drilling of a well. The signals received in the wells are transmitted to the surface using special built-in transducers on the drill pipe column via a cable built into the column. The development of new, innovative, modern devices for geophysical research is characterized by the complication of equipment with the expansion of parameters, tasks for performing a complex of geophysical research. A number of upgrades to the pulsed neutron gamma-spectrometric logging equipment, which will be able to bring the existing domestic equipment to the level of the latest Western analogues. The scheme of the pulsed gamma neutron device with the T100 calibrator is unique in the industry. This scheme allows for multipoint calibration of sensitivity to oil and gas, calibrated logging performance in accordance with factory specifications and consistency of measurements between tools, regardless of the age of the tool or the conditions of well operation.

Keywords: geophysical surveys, pulsed gamma neutron logging, well logging

For citation: Egorova E. V., Shvyrev V. A., Silkina T. S. Proposal for the modernization of import-substituting geophysical equipment "AINK-PL" production N. L. Dukhov Scientific Research Institute of Automation. *Oil and gas technologies and environmental safety.* 2024;2:30-36. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2024-2-30-36>. EDN LZZESS.

Введение

Геофизические методы исследования активно применяются при разведочных работах месторождений углеводородного сырья. Особенностью этих методов является удаленность изучаемых объектов от точки наблюдателя. Главной целью геофизических исследований является получение, передача, переработка информации о рельефе, составе грунта, количестве и расположении грунтовых вод. Такие исследования проводят по окончании бурения скважины точного интервала разреза с помощью спускаемых в скважину на специальном геофизическом кабеле устройств.

Анализ геологического строения породы основывается на последовательности залегания и характеристиках горной породы, литолого-стратиграфических свойств горной породы, изучение которых возможно способом отбора и анализа керна. Стоит отметить, что отбор керна не всегда может дать точную информацию о геологическом разрезе, поскольку его иногда невозможно извлечь из нужного отрезка скважины, а также при его отборе и анализе свойства могут меняться. Физико-химические характеристики пород, такие как упругость, электропроводность, радиоактивность, вместо отбора керна возможно получить каротажем в виде

диаграмм. Существуют несколько видов каротажа в зависимости от физических свойств породы (акустический, электрический, радиоактивный, термический). Для проведения данных операций необходимо подходящее, современное, техническое оборудование.

В настоящее время активно разрабатывается аппаратура, которая помогает геофизикам определять параметры пород в процессе бурения скважины. Сигналы, полученные в скважинах, передаются на поверхность при помощи специальных встроенных преобразователей на колонне бурильных труб по встроенному в колонну кабелю. Разработка новых, инновационных, современных приборов характеризуется усложнением аппаратуры с расширением параметров и задач для выполнения комплекса геофизических исследований [1].

Геофизическая аппаратура предназначена для:

- 1) механизации процессов измерения;
- 2) создания скважинной аппаратуры для отдельных геофизических методов;
- 3) объединения величин и измерений;
- 4) распределения аппаратуры по видам (приборы для изучения электромагнитных и электрических методов изучения скважины, для проведения

акустического метода изучения скважины, для взятия пробы грунта на участке).

Главное направление при механизации и автоматизации геофизических исследований в скважинах в настоящее время основывается на создании новейших регистрирующих устройств, которые обеспечат показание результатов как в аналоговой, так и в цифровой формах и позволят проводить геофизические исследования и интерпретировать информацию на значительном расстоянии. Для этих целей применяется графо-цифровой преобразователь Ф001. Для видоизменения промыслово-геофизических данных в цифровую форму разработаны типы аппаратуры с записью на магнитную ленту (АЦРК-2, Триас) и на перфоленту (ПЛК-6) [1].

В настоящее время также активно разрабатываются телеизмерительные системы с большим количеством измерительных каналов на основе импульсной модуляции и временного разделения.

Первостепенные направления геофизических исследований

Главными направлениями для развития геофизических исследований являются:

- 1) создание и развитие геофизических лаборатор-

рий, которые должны быть оснащены специальной аппаратурой и приборами с целью получения первичной информации и ее интерпретации;

- 2) разработка новейших многоканальных устройств, которые позволят проводить геофизические исследования за одну или две спуско-подъемную операцию;

- 3) повышение надежности, качества, термостойкости на основе полученных результатов и улучшение технологии производства;

- 4) разработка метрологических условий геофизических исследований;

- 5) развитие спуско-подъемного оборудования и геофизического кабеля глубиной более 10–15 м;

- 6) создание и развитие геофизических лабораторий для исследований на морских месторождениях и скважинах;

- 7) создание автономных приборов и устройств для геофизических исследований скважин.

Структура блоков скважинных телеизмерительных систем

Структурно-функциональная телеизмерительная система представлена на рис. 1.

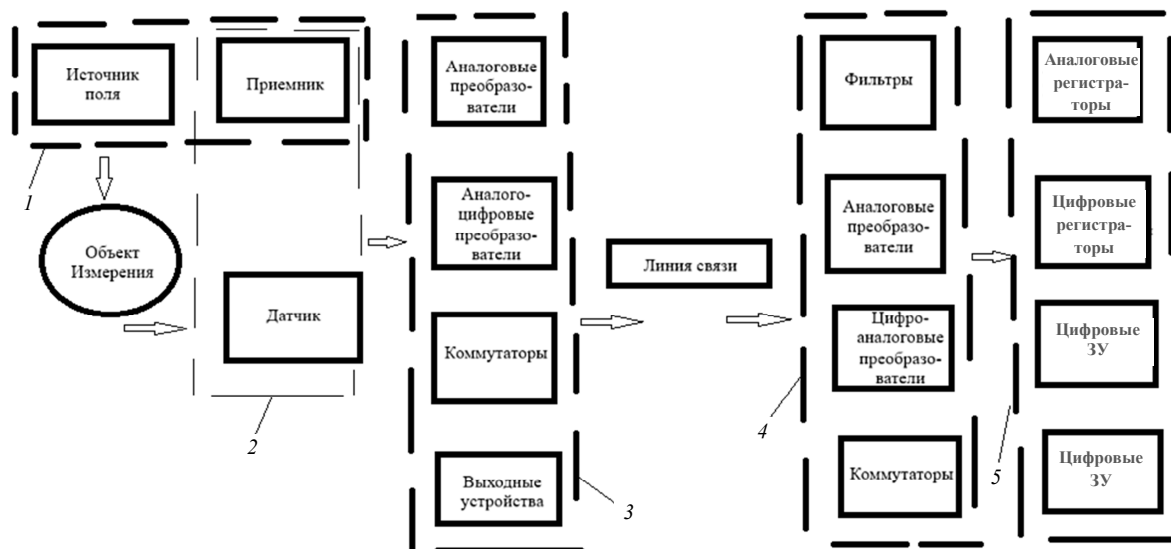


Рис. 1. Структурно-функциональная телеизмерительная система:
 1 – зонд; 2 – блок первичных измерительных преобразователей; 3 – блок передачи информации;
 4 – блок приема информации; 5 – блок обработки результатов измерения;
 ЗУ – запоминающиеся устройства

Fig. 1. Structural and functional measuring system:
 1 – probe; 2 – block of primary measuring transducers; 3 – block of information transmission;
 4 – information reception unit; 5 – measurement results processing unit;
 ЗУ – memory storage devices

Зонд (рис. 2) является основной частью телеизмерительной системы и служит для создания в око-

лоскважинном пространстве физического поля, получения параметров.

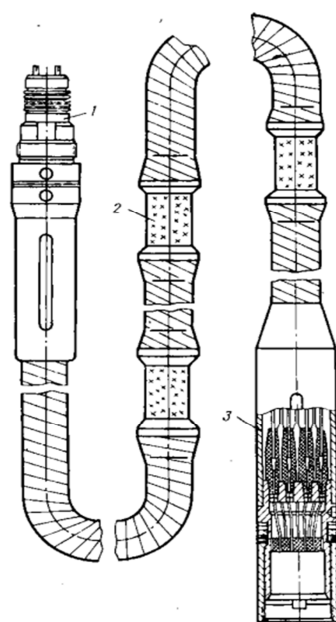


Рис. 2. Многоэлектродный зонд для электрометрии скважин:
1 – блок питания; 2 – модуль приемников; 3 – излучатель

Fig. 2. Multielectrode probe for well electrometry:
1 – power supply unit; 2 – receiver module; 3 – radiator

Назначение импульсного нейтронного гамма-каротажа

Импульсный нейтронный гамма-каротаж (ИНГК-С) – это проверенный метод, помогающий операторам отслеживать контакты с флюидами и другие изменения в коллекторах для оптимального управления их добычи, определения местоположения и количественной оценки дополнительных запасов, а также продления срока службы зрелых месторождений.

Метод ИНГК-С основан на облучении породы быстрыми нейтронами и регистрации вторичного гамма-излучения, возникающего в результате взаимодействия нейтронов с ядрами пород.

Назначение аппаратуры импульсного нейтронного гамма-спектрометрического каротажа (АИНК-ПЛ) заключается в определении элементного состава пород и текущей нефтегазонасыщенности коллекторов независимо от минерализации. Однако концептуальная модель данного комплекса уступает актуальным иностранным аналогам.

Целью работы является предложение ряда модернизаций прибора «АИНК-ПЛ», которые смогут довести существующую отечественную аппаратуру до уровня новейших западных аналогов [2].

Предлагаемые изменения:

1) переход на матрицу из четырех лантан-бромидовых (LaBr_3) детекторов гамма-квантов, вместо двухдетекторной схемы;

2) установка калибратора;

3) модернизация телеметрического картриджа.

Переход на матрицу из четырех детекторов сочетает в себе генератор импульсных нейтронов высокой мощности, четыре спектроскопических датчика, каждый из которых содержит сцинтилляционный детектор бромида лантана (LaBr_3) и детектор быстрых нейтронов. Детекторы бромида лантана (LaBr_3) все еще остаются бескомпромиссными, т. к. обеспечивают: в 3 раза большее разрешение для спектрального анализа по сравнению с сцинтилляторами на основе германата висмута (BGO); в 10 раз более яркую светотдачу для улучшения отношения сигнал/шум по сравнению с сцинтилляторами на основе ортосиликата гадолиния (GSO); в 30 раз лучшую температурную стабильность по сравнению с сцинтилляционными детекторами на основе германата висмута (BGO). Эти компоненты, а также счетчик быстрых нейтронов, размещены в двух физических секциях измерительного блока, включающего генератор нейтронов и матрицу детекторов, и в блоке обработки, который содержит электронику обработки и управления, которые, в свою очередь, позволяют операторам исследовать больший объем резервуара, различные глубины и разрешения для получения точных результатов. Большая матрица детекторов также максимизирует чувствительность к газу, что делает ее на 250 % более чувствительной, чем стандартные инструменты с двумя детекторами. Это было доказано применением более чем на

200 месторождениях Мексиканского залива новейшего прибора компании «Weatherford», использующего аналогичную архитектуру [3].

Схема импульсного гамма-нейтронного прибора с калибратором T100 является уникальной в отрасли. Данная схема позволяет обеспечить многоточечную калибровку чувствительности к нефти и газу, откалиброванную производительность каротажа в соответствии с заводскими спецификациями и согласованность измерений между инструментами независимо от возраста инструмента или условий эксплуатации скважины.

Модернизированный телеметрический картридж должен включать в себя вспомогательные измерительные устройства, локатор бурта обсадной колонны и акселерометр.

Таким образом удастся достичь следующих результатов: матрица с четырьмя детекторами улучшает спектроскопические измерения C/O (отношение углерод/кислород) и sigma и обеспечивает измерения размерной насыщенности. Эта уникальная функция позволяет проводить разрезание пласта или измерения насыщенности на разных глубинах исследования, которые соответствуют различным разрешениям по вертикали.

Режимы регистрации с четырьмя детекторами окиси углерода C/O и кальций-кремний

Измеряя неупругие соотношения углерод-кислород и кальций-кремний с помощью четырех детекторов, модель C/O обеспечивает базовую литологию и водонасыщенность нефти. При интерпретации используются высокоточные характеристики скважины в сочетании с пористостью и гли-

нистостью, предоставленные заказчиком. Откалиброванная модель месторождения позволяет проводить интерпретации в скважинах, в которых отсутствуют каротажные записи открытых скважин. Одновременное решение для литологии и нефтенасыщенности позволяет идентифицировать и корректировать изменения в карбонатной цементации и кальцитовых пропластках, которые могут искусственно увеличивать нефтенасыщенность.

Режим Sigma

Модель измерения Sigma, полученная на основе комбинации измерений Sigma из массива из четырех детекторов, обеспечивает Sigma-образования с поправкой на диффузию. Это обеспечивает разнообразие видов на разных глубинах пласта. Затем Sigma-измерения используются для расчета водонасыщенности в средах с высокой соленостью с использованием метода суммирования объемных свойств. Вычисляя плотность порового флюида, продукт газоотдачи определяет газожидкостную насыщенность.

Трехфазный режим

Для коллекторов, содержащих все три типа флюидов (буровой, пластовый, нанофлюид), система может работать в комбинированном режиме.

Новый телеметрический картридж обеспечит совместимость с другими инструментами для регистрации добычи и оценки цемента [3].

После внесенных изменений можно рассчитывать на характеристики геофизической аппаратуры «АИНК-ПЛ», а также ее физические параметры, представленные в табл. 1, 2.

Таблица 1
Table 1

Характеристики геофизической аппаратуры «АИНК-ПЛ»
 Characteristics of the geophysical equipment "AINK-PL"

Параметр	Значение
Обработка данных	Sigma, C/O, неупругие скорости и скорости счета захвата, а также спектроскопические измерения с ближних, дальних и длинных детекторов
Скорость каротажа, м/мин: – режим Sigma – режим C/O	От 4,6 до 9,1 От 0,6 до 0,9
Диапазон измерений	От 0 до 60 единиц захвата; от 0 до 60 единиц пористости
Вертикальное разрешение, мм	304,8
Погрешность, единицы захвата	±0,25
Глубина исследования, м	От 193 до 401,3
Режимы работы	Sigma, C/O
Скважинные жидкости	Жидкости для бурения и заканчивания скважин на соленой воде, пресной воде, нефти, газе, водной и нефтяной основе

Физические параметры геофизической аппаратуры «АИНК-ПЛ»

Physical parameters of the geophysical equipment “AINK-PL”

Параметр	Значение
Наружный диаметр прибора, мм	42,9
Длина прибора, м	9,1
Общий вес прибора, кг	70,8
Максимальная температура прибора, °С	150
Максимальное давление прибора, МПа	103,4
Максимальный диаметр скважины, мм	460
Минимальный диаметр скважины, мм	50,7
Время автономной работы прибора, ч	20
Память прибора	6 ГБ (емкость записи > 20 часов)

Заключение

Таким образом, расширяются возможности определения текущей нефтенасыщенности на нефтяных месторождениях минерализованными пластовыми водами, определения газожидкостного контакта, оценки пористости пород, литологического расчле-

нения разреза, контроля технического состояния скважины (наличие заколонных перетоков и мест поступления воды в колонну), а также повышаем глубину и эффективность исследования, приводя параметры геофизической аппаратуры до новейших зарубежных аналогов.

Список источников

1. Кривко Н. Н., Шароварин В. Д., Широков В. Н. Промыслово-геофизическая аппаратура и оборудование. М.: Недра, 1981. 280 с.
2. Пат. РФ № 168744 РФ U1 G01V 5/10. Устройство для импульсного нейтронного спектрометрического гамма-каротажа / Шоленинов С. Э., Рачков Р. С., Копы-

лов С. И., Асосков П. Ю. № 2016125269; заявл. 24.06.2016; опубл. 17.02.2017.
3. Raptor Cased-Hole Evaluation System. URL: <https://www.weatherford.com/documents/technical-specification-sheet/products-and-services/formation-evaluation/raptor-2-0-cased-hole-evaluation-tool/> (дата обращения: 01.05.2024).

References

1. Krivko N. N., Sharovarin V. D., Shirokov V. N. *Promyslovo-geofizicheskaja apparatura i oborudovanie* [Field and geophysical equipment and equipment]. Moscow, Nedra Publ., 1981. 280 p.
2. Sholeninov S. Je., Rachkov R. S., Kopylov S. I., Asoskov P. Ju. *Ustrojstvo dlja impul'snogo nejtronnogo spektrometricheskogo gamma-karotazha* [Device for pulsed

neutron spectrometric gamma-ray logging]. Patent RF, no. 2016125269, 17.02.2017.
3. *Raptor Cased-Hole Evaluation System*. Available at: www.weatherford.com/documents/technical-specification-sheet/products-and-services/formation-evaluation/raptor-2-0-cased-hole-evaluation-tool/ (accessed: 01.05.2024).

Статья поступила в редакцию 03.04.2024; одобрена после рецензирования 16.04.2024; принята к публикации 21.05.2024
The article was submitted 03.04.2024; approved after reviewing 16.04.2024; accepted for publication 21.05.2024

Информация об авторах / Information about the authors

Елена Валерьевна Егорова – кандидат технических наук, доцент; заведующий кафедрой разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений; Астраханский государственный технический университет; egorova_ev@list.ru

Elena V. Egorova – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Development and Operation of Oil and Gas Fields; Astrakhan State Technical University; egorova_ev@list.ru

Владислав Александрович Швырев – студент кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений; Астраханский государственный технический университет; silkina_2002@mail.ru

Татьяна Сергеевна Силкина – студент кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений; Астраханский государственный технический университет; silkina_2002@mail.ru

Vladislav A. Shvyrev – Student of the Department of Development and Operation of Oil and Gas Fields; Astrakhan State Technical University; silkina_2002@mail.ru

Tatyana S. Silkina – Student of the Department of Development and Operation of Oil and Gas Fields; Astrakhan State Technical University; silkina_2002@mail.ru

