

## Компания «Шлюмберже» внедряет в процессе бурения радиоактивный каротаж российского производства как часть большой программы локализации

ENG

**А.Ю. БОКАРЁВ**

*Abokarev2@slb.com*

**Д.С. ЛЕОНТЬЕВ, А.Н. МИНГАЗОВ**

**Л.С. ГОЛОВАНОВА, М.Г. АХУНДОВ**

/ООО «Технологическая Компания Шлюмберже», г. Москва/

Предложено современное решение полностью российского производства в виде КНБК, оснащенной роторной управляемой системой, расширенным комплексом ГИС и высокоскоростной телеметрией. Рассказывается об успешной реализации проекта интеграции прибора радиоактивного каротажа российского производства в КНБК. Приведены результаты опытно-промышленных работ. Рассматриваются вопросы, связанные с внедрением и применением представленной технологии при бурении скважин. Описано новое интересное решение одной из сложных задач, выявленных в процессе интеграции, – организация передачи имиджа плотности в процессе бурения, которое позволило передавать имидж плотности приемлемого качества без алгоритмов сжатия.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** компоновка низа бурильной колонны (КНБК), радиоактивный каротаж в процессе бурения, интеграция прибора радиоактивного каротажа в КНБК, нейтронно-плотностный каротаж, высокоскоростная телеметрия, интеграция прибора радиоактивного каротажа с высокоскоростной телеметрией, каротажные зонды, телеметрические системы TeleScope/IMPulse, комплекс ГИС в бурении, передача имиджа плотности в процессе бурения без сжатия

### Schlumberger Deploys Russian Made Radioactive Logging While Drilling Service as a Part of Big Localization Program

A.YU. BOKAREV, D.S. LEONTYEV, A.N. MINGAZOV,  
L.S. GOLOVANOVA, M.G. AKHUNDOV  
/Schlumberger, Moscow/

The paper describes the proposed completely Russian modern solution in a form of BHA equipped with a rotary steering system, an extended well survey set and a high-speed telemetry. The paper also informs on the successful project application to integrate the Russian-made radioactive logging tool into BHA and provides for the results of experimental and industrial work done. It also describes the issues related to the commissioning and application of the presented technology into the process of well drilling and a new, interesting solution of one of the complicated problems identified in the process of integration – the organization of the density image transfer while drilling, which allowed transmitting of an acceptable quality of dense image without compression algorithms.

**KEY WORDS:** bottom-hole assembly (BHA), radioactive logging while drilling, integration of radioactive logging tool into BHA, neutron-density logging, high-speed telemetry, integration of radioactive logging tool with high-speed telemetry, logging probes, TeleScope/IMPulse telemetry systems, well survey set while drilling, transmission of dense image while drilling without compression

## УСПЕШНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ПРИБОРА НЕЙТРОННО-ПЛОТНОСТНОГО КАРОТАЖА РОССИЙСКОГО ПРОИЗВОДСТВА В КНБК

Нефтесервисные компании активно занимаются разработкой компоновки низа бурильной колонны (КНБК), на 100 % состоящей из российского оборудования. Одним из примеров успешной реализации таких проектов является интеграция прибора радиоактивного каротажа российского производства. Для решения этой задачи были выбраны приборы производства ЗАО «НПП Энергия». Приборы являются разработкой 2017 г. и входят в реестр технологий, одобренных ЭТС ГКЗ (Протокол № 6 от 29.07.19). Экспертный совет оценил качество и полноту измерений аппаратуры. Однако для раскрытия измерительного потенциала прибора для целей геонавигации и оперативного петрофизиче-

ского сопровождения была необходима его интеграция с высокоскоростной телеметрией. На базе российского завода «ГЕОФИТ» был разработан уникальный соединительный модуль, позволяющий совместить с высокоскоростной телеметрией каротажные зонды производства ЗАО «НПП Энергия». Разработка модуля сделала возможным полностью интегрировать прибор ЗАО «НПП Энергия» в компоновку компании «Шлюмберже», обеспечив получение данных ГГК и ННК в реальном времени для геонавигации и оперативной оценки фильтрационных и емкостных свойств (ФЕС) пластов. Телеметрические системы TeleScore/IMPulse имеют возможность передавать забойные данные по гидроканалу на поверхность со скоростью до 12 бит/с без сжатия (до 50 бит/с со сжатием). Соединительный модуль производства «ГЕОФИТ» позволил заполнить этот канал измерениями приборов LWD121-2ННК-ГГКЛП (4.75") / LWD172-2ННК-ГГКЛП-ЗГК (6.75"). В реальном выражении такая скорость передачи позволила передавать пять кривых и развертку плотности (имидж) в реальном времени с плотностью данных около трех точек записи на метр (рис. 2).

В апреле 2019 г. проведено первое опытно-промышленное испытание зонда ЗАО «НПП Энергия» LWD121-2ННК-ГГКЛП (4.75") в единой связке с прибором нейтронно-плотностного каротажа adnVISION475 в карбонатном разрезе. Выполнено прямое сопоставление измеряемых параметров. Сопоставление методов ГГКлп, ННКт, «Имидж», «Каверномер» из памяти обоих приборов показало сходимость в пределах паспортной погрешности измерений (рис. 1). Сопоставление паспортных характеристик приборов представлено в таблице.

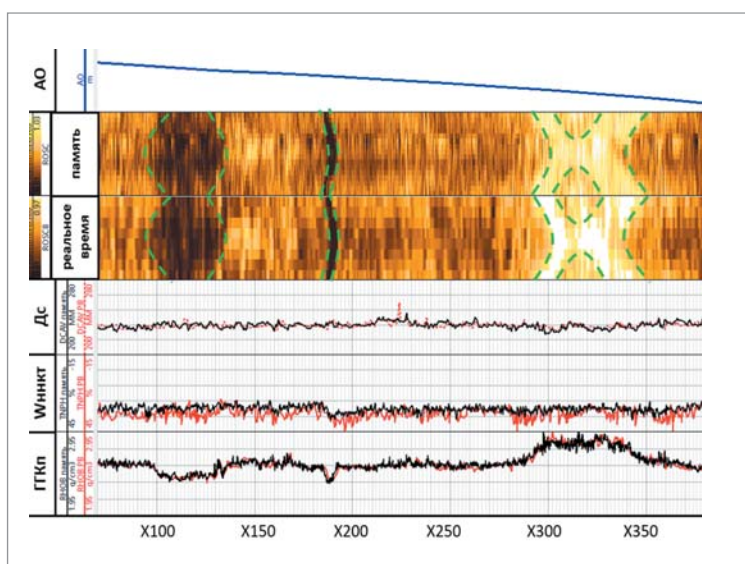


Рис. 1. Сопоставление данных реального времени и из памяти прибора LWD172-2ННК-ГГКЛП-ЗГК

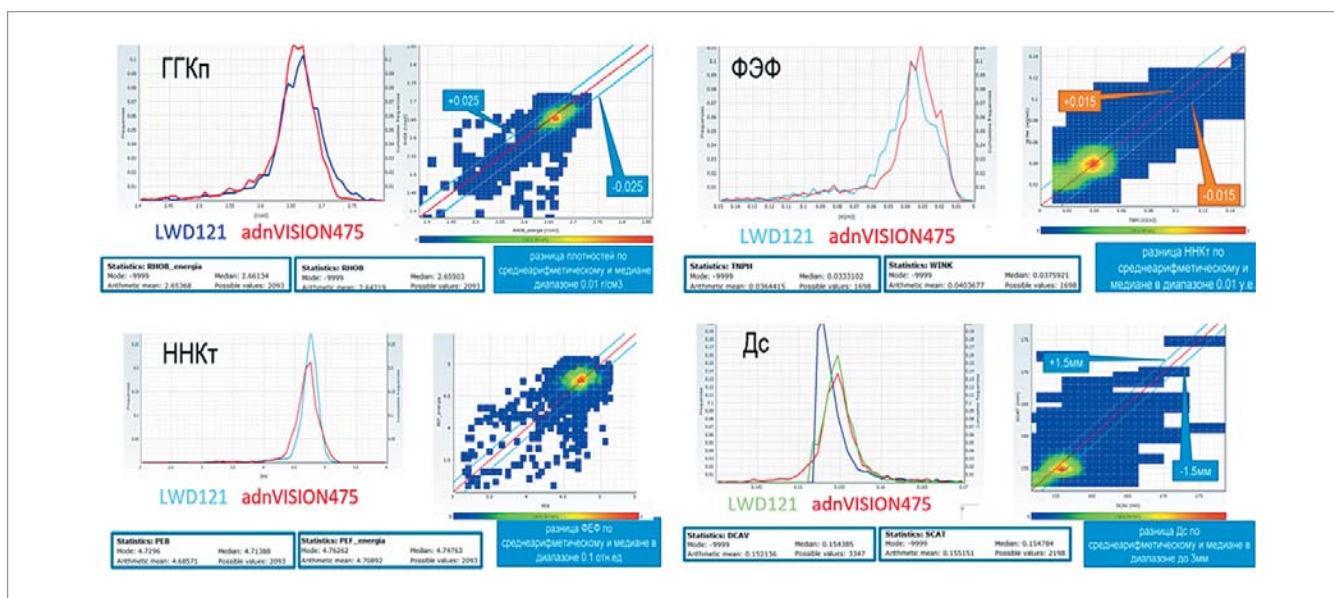


Рис. 2. Сравнение данных из памяти приборов 2ННК-ГГКЛП-LWD-121 и adnVISION 475

### Сопоставление измерительных характеристик приборов радиоактивного каротажа в процессе бурения производства ЗАО «НПП Энергия» и «Шлюмберже»

		LWD121/LWD172	adnVISION475	EcoScope
Плотность	Погрешность измерения, г/см <sup>3</sup>	±0,025-0,035	±0,015	±0,015
	Прецизионность (при 20 м/ч и 2,5 г/см <sup>3</sup> ), г/см <sup>3</sup>	±0,0075	0,0045	0,002
	Активность ИИИ, Ки	0,5	1,7	1,7
	Вертикальное разрешение, см	25	15	15
Водородосодержание	Погрешность измерения, % (отн.)	5-8	5	5
	Прецизионность (при 20 м/ч и K <sub>п</sub> =20 %), % (абс)	1	0,5	0,4
	Активность ИИИ, Ки	6,5	10	Генератор
	Вертикальное разрешение, см	50	30	54
ФЭФ	Погрешность измерения, отн. ед	±0,2	±0,12	±0,1
Имидж плотности, секторов		16	16	16

На текущий момент описываемая технология успешно применена при бурении более 30 скважин в двух типах размеров LWD121 и LWD172.

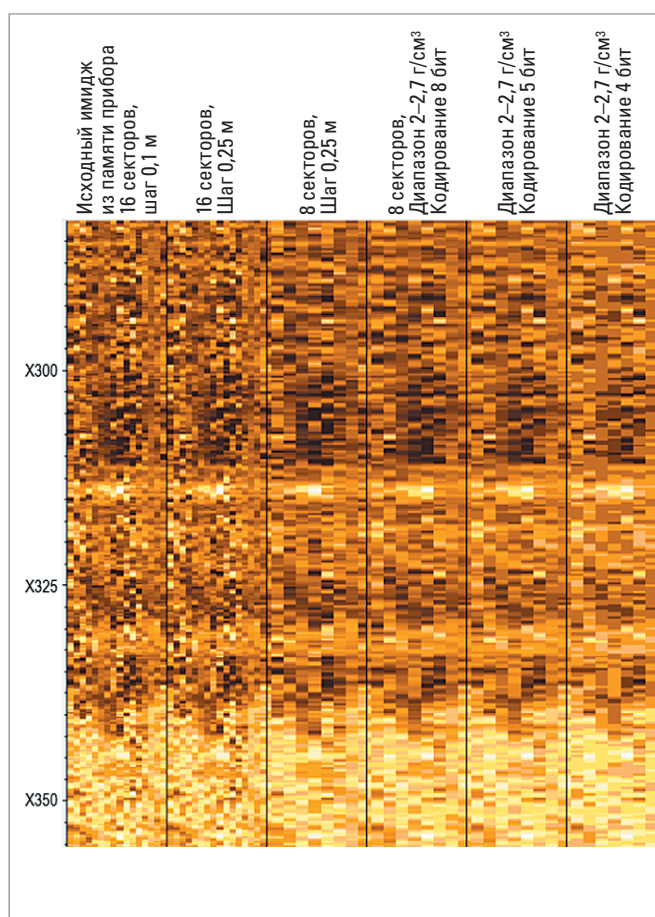
Применение радиоактивных источников в приборах LWD компании «НПП Энергия» требует соблюдения высочайших стандартов безопасности для сохранения жизни и здоровья полевого и технического персонала. Мировые стандарты, процедуры и технические

решения по обращению с радиоактивными источниками применительно к российскому прибору LWD находятся на различных этапах внедрения в операционную деятельность, включая конструктивные изменения в дизайне прибора, выполняемые совместно с заводом-изготовителем. Например, изменение конструкции заглушки посадочного места источникодержателя, пересмотр инструмента для загрузки/выгрузки ИИИ с целью ускорения операций и снижения времени облучения персонала, увеличение износостойкости калибратора прибора методом лазерной наплавки, организация калибровочного цеха и подбор оптимальной методологии калибровки, создание установки для регулярной проверки целостности источников и их фотоинвентаризации.

На базе Сибирского учебного центра Шлюмберже в г. Тюмень при поддержке компании «НПП Энергия» организованы специальные программы обучения полевого и технического персонала для обеспечения необходимых компетенций сотрудников, работающих с оборудованием LWD ЗАО «НПП Энергия». Создан портал, консолидирующий техническую информацию о приборе LWD компании «НПП Энергия», включая самые свежие обновления процедур, прошивок ПО, технических регламентов, изученных уроков по отказам и другую важную информацию.

### ИМИДЖ ПЛОТНОСТИ

Одной из сложных задач, решенных в процессе интеграции, была организация передачи имиджа плотности в процессе бурения. Имидж (развертка измерений) дает представление об изменении измеряемых свойств по окружности скважины. Эти сведения крайне важны при геологическом сопровождении, потому что дают информацию об углах наклона структуры. Измерения имиджа – это не простой интегральный параметр, а массив данных. Важной задачей является достоверная передача существенного объема данных



**Рис. 3.** Пример ступенчатой оптимизации имиджа плотности для передачи в реальном времени без использования алгоритмов сжатия

с забоя на поверхность. Эта задача традиционно решается с помощью комбинации двух технологических решений – использования высокоскоростных забойных телесистем (>4 бит/с) и алгоритмов сжатия. Массив имиджа плотности представлен в виде 16 каналов, каждый из которых показывает значение плотности из сектора развертки с углом 22,5°. При сжатии такого массива используется алгоритм DCT (Dual Cosine Transformation), аналогичный алгоритму сжатия изображений JPEG. При этом берется фрагмент массива 16x16 пикселей, кодируется и разбивается на пакеты, которые поочередно передаются через забойную телесистему. Эффективность сжатия информации – порядка нескольких раз.

При внедрении прибора ЗАО «НПП Энергия» команда столкнулась с отсутствием встроенных алгоритмов сжатия имиджа плотности. Внедрение требует ресурсов и времени. При отсутствии алгоритмов сжатия приходится передавать все каналы в виде отдельных кривых, что неминуемо приведет к недостаточной плотности данных в реальном времени.

На начальном этапе промышленного использования было предложено интересное решение, которое позволило передавать приемлемое качество имиджа плотности без алгоритмов сжатия. Для реализации передачи имиджа плотности без сжатия было решено идти по пути оптимизации самого массива. Другими словами, необходимо уменьшить размер массива до минимума. При этом минимальный размер обязательно должен удовлетворять условию выполнения поставленной задачи по оценке угла залегания пластов в направлении бурения. Оптимизация выполнялась поэтапно с контролем результата на каждом этапе:

**1 этап.** Уменьшение секторности с 16 до 8 секторов. Позволил уменьшить размер массива в два раза.

**2 этап.** Снижение размера, или битности, передаваемого значения. Позволил оптимизировать размер передаваемого параметра еще в два раза: с 8 до 4 бит. Оптимизация битности была достигнута сужением диапазона измерений и снижением дискретности измерений, а именно, если есть представления об ожидаемом диапазоне измерений, то нет необходимости резервировать значения плотности всех возможных отложений, а сузить диапазон, уменьшив битность контейнера для передачи пакета данных. Для снижения дискретности был также использован принцип практической достаточности. Необходимо иметь такую дискретность значений, чтобы пропластки могли

быть выделены на развертке. Другими словами, если пропластки достаточно контрастны, то нет никакого смысла иметь избыточно чувствительный имидж – результат обработки будет аналогичный.

Таким образом, удалось снизить объем передаваемых данных в четыре раза, что позволило приблизиться к значениям сжатого имиджа. Все математические преобразования выполняются в соединительном модуле производства «ГЕОФИТ». Пример оптимизации имиджа представлен на **рис. 3**. Хотя решение и удовлетворяет текущим задачам, следующим этапом работы является внедрение алгоритмов сжатия для имиджа плотностного каротажа ЗАО «НПП Энергия» с целью передачи 16-секторного имиджа в реальном времени.

Стоит отметить, что на момент написания данной статьи был успешно протестирован и реализован процесс передачи 16-секторного имиджа плотности в процессе бурения для скважины с двухколонной конструкцией.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Первостепенной задачей на начальной стадии применения нового геофизического оборудования является оценка качества измерений и подтверждение заявленных характеристик. Приборы радиоактивного каротажа ЗАО «НПП Энергия» успешно прошли процедуру сопоставления с западными аналогами.

Локализация в нефтегазовом сервисе органично развивается и является естественным процессом, позволяющим снижать затраты, сокращать зависимость от ранее ввозимого импортного оборудования, приближать производственные мощности к заказчику и создавать новые отечественные продукты, максимально отвечающие требованиям российского рынка.

Прибор радиоактивного каротажа ЗАО «НПП Энергия» в составе широко применяемой КНБК – это яркий пример симбиоза лучших отечественных достижений и передовых технологичных разработок компании «Шлюмберге», реализующий программу импортозамещения и локализации нефтегазовой отрасли России. С внедрением в промышленную эксплуатацию данного прибора компания «Шлюмберге» готова предложить рынку современное решение полностью российского производства в виде КНБК, оснащенной роторной управляемой системой, расширенным комплексом ГИС и высокоскоростной телеметрией.

## ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Доклад «Применение данных каротажа в процессе бурения с использованием комплексных приборов LWD121-2ННК-ГГКЛП и LWD172-2ННК-ГГКЛП-ЗГК разработки и производства ООО «НПП Энергия» для целей подсчета запасов» – [https://power-np.ru/f/nvs\\_lwd\\_energy\\_sept\\_2019.pdf](https://power-np.ru/f/nvs_lwd_energy_sept_2019.pdf)