



# Новый уровень развития российских технологий геофизических исследований скважин во время бурения

*Впервые российская высокотехнологичная компоновка приборов телеметрии, каротажа и РУС использована для строительства горизонтальной многозабойной скважины на Чаяндинском месторождении.*

**Технология горизонтального бурения – это краеугольный камень эффективной разработки нефтегазовых запасов России в условиях современной рыночной конъюнктуры. Прорывом в нефтегазовой отрасли с середины 90-х стало использование первых зарубежных технологий горизонтального бурения, позволивших российским операторам достигнуть высокого роста показателей добычи с каждой скважины. Сегодня, в условиях усложняющейся структуры запасов, критически важно обеспечивать доступность технологии горизонтального бурения для поддержания конкурентоспособности российского ТЭК.**

**Интегрированная компоновка приборов для каротажа удельного электрического сопротивления, радиоактивного и гамма-каротажа, оснащенная телеметрической системой с высокоскоростным каналом передачи данных и совместимая с роторной управляемой системой, до настоящего времени была доступна у небольшого числа крупных международных сервисных корпораций. Однако долгосрочная стратегия развития отечественных технологий, наконец, принесла первые положительные результаты с доказанным успехом на конкретной скважине.**

**В статье представлен инновационный опыт бурения горизонтальной многозабойной скважины на Чаяндинском месторождении с использованием высокотехнологичной интегрированной компоновки приборов, разработанных и произведенных в Российской Федерации.**

**Ключевые слова:** ГИС, ГИС во время бурения, телеметрия, каротаж, РУС, горизонтальное бурение, локализация, импортозамещение

## A New Milestone of Russian Logging-While-Drilling Technology Development

Horizontal drilling technology has become a cornerstone of economical oil & gas field development in Russia.

A triple-combo drilling bottomhole assembly comprising of Resistivity, Gamma Ray, Density and Neutron Porosity logging tools equipped with a High-Speed Telemetry tool and compatible with RSS, up until recently has only been available from a handful of international oilfield services corporations.

However, a long-term local technology development strategy has finally delivered successful results.

This article provides a case study about a horizontal multilateral well drilled with an integrated triple-combo BHA comprising of Russian-made downhole tools.

**Keywords:** Logging, LWD, MWD, telemetry, RSS, horizontal drilling, localization, import substitution

### ВВЕДЕНИЕ

Горизонтальная многозабойная скважина была успешно пробурена на кусте № 5 Чаяндинского нефтегазоконденсатного месторождения (ЧНГКМ) в декабре 2022 г.

Эта была первая скважина, пробуренная с использованием высокотехнологичной

интегрированной компоновки низа бурильной колонны (КНБК), состоящей из приборов, произведенных на территории России (рис. 1).

Проводимая специалистами заказчика геонавигация требует передачи полного комплекса каротажных данных в реальном времени, включая имиджи плотности,

**А.Н. МИНГАЗОВ<sup>1</sup>,**  
технический руководитель ГИС  
в процессе бурения  
amingazov@slb.com

**А.В. ТУЕВ<sup>1</sup>,**  
магистр техники и технологии,  
менеджер по развитию продуктов  
«Геофит»  
atuev@slb.com

**Е.А. СУББОТА<sup>1</sup>,**  
ведущий инженер по бурению  
esubбота@slb.com

**В.А. БЕЗРУКОВА<sup>1</sup>,**  
ведущий инженер по телеметрии и ГИС

**И.Ю. МУХАЧЕВ<sup>2</sup>,**  
руководитель по инженерной поддержке  
наклонно-направленного бурения  
и долот  
mukhachev.iyu@gazprom-neft.ru

**Р.Р. КУДАШЕВ<sup>2</sup>,**  
руководитель сектора геологического  
сопровождения бурения  
kudashev.rr@gazprom-neft.ru

**И.И. КАРИМОВ<sup>2</sup>,**  
руководитель направления  
по геологическому сопровождению  
бурения  
karimov.ii@gazprom-neft.ru

<sup>1</sup>ООО «Технологическая компания  
Шлюмберге»  
г. Москва, 125319, РФ

<sup>2</sup>ООО «Газпромнефть-Заполярье»  
г. Тюмень, 625048, РФ

**A.N. MINGAZOV<sup>1</sup>,**  
**A.V. TUEV<sup>1</sup>,**  
**E.A. SUBBOTA<sup>1</sup>,**  
**V.A. BEZRUKOVA<sup>1</sup>,**  
**I.Yu. MUHACHEV<sup>2</sup>,**  
**R.R. KUDASHEV<sup>2</sup>,**  
**I.I. KARIMOV<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Schlumberger Technology Company LLC  
Moscow, 125319,  
Russian Federation

<sup>2</sup>Gazpromneft-Zapolyarye LLC  
Tyumen, 625048,  
Russian Federation



Рис. 1. Иллюстрация высокотехнологичной КНБК

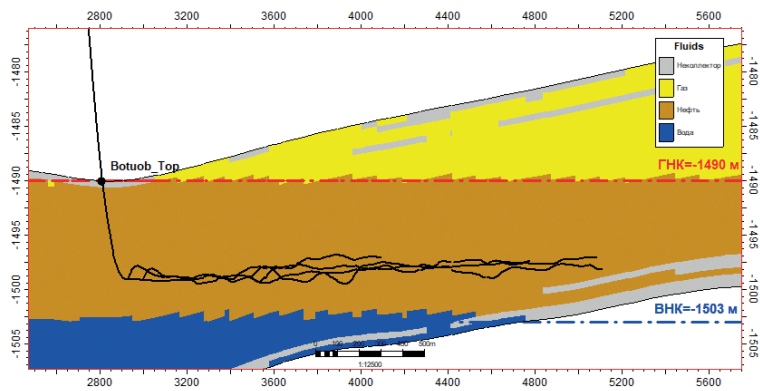


Рис. 2. Иллюстрация бурения МЗС на нефтяную оторочку Ботуобинского горизонта

а сложная пространственная архитектура горизонтальных скважин вместе со значительным отходом от вертикали диктуют необходимость использования роторной управляемой системы (РУС).

До настоящего времени эти требования были выполнимы лишь иностранными технологиями, однако современные разработки российских производственных центров «Геофит» (ООО «Технологическая компания Шлюмберже») и ООО «НПП Энергия» позволили решить все поставленные задачи оборудованием, произведенным в нашей стране.

Как показывает опыт разработки нефтегазовых месторождений, при бурении протяженных горизонтальных и многозабойных скважин использование комплекса ГИС в процессе бурения критически важно по ряду причин:

- Геологические и петрофизические задачи, позволяющие контролировать профиль скважины относительно геологического разреза с расположением в коллекторах разного типа, благодаря получению качественной информации и в нужном количестве для достоверного понимания и выделения интервалов продуктивных пород и оценки его характера насыщения, которые в дальнейшем повлияют на траекторию и конструкцию заканчивания хвостовой части скважины.

- Контроль проводки профиля скважины относительно флюидальных контактов, газонефтяного или водонефтяного.

- Оптимизация сроков строительства скважин: исключение применения комплекса ГИС на трубах для секций хвостовиков.

- Оценка запасов нефти и газа.

В целом наполнение комплекса измерений, передаваемого в процессе бурения, зависит от сложности геологического проекта. Особенностью проекта горизонтального бурения на нефтяную оторочку Чайядинского НГКМ является строительство многозабойных скважин (МЗС) на оторочку, мощностью 10–15 м, ограниченную газовой шапкой и подстилающей водой (рис. 2).

В этом случае важно контролировать пересечение газонефтяного контакта по радиоактивным методам

и оценивать насыщения в случае проводки скважины вблизи водонефтяного контакта по данным удельных сопротивлений.

Наиболее зарекомендовавшими себя для рассматриваемого проекта являются следующие методы (далее именуемые «Стандартный комплекс ГИС в процессе бурения»):

- Гамма-каротаж, УЭС до трех разноглубинных зондов в реальном времени.

- Нейтронная пористость – ННКт.

- Азимутальная объемная плотность породы – ГГКп по квадрантам, имидж-развертка по ГГКп и кавернометрия.

Перечисленный комплекс позволяет провести количественную оценку фильтрационных свойств в процессе бурения, таких как коэффициент пористости, проницаемости и водонасыщенности, а также выделить газонефтяной контакт в процессе бурения. Применение имиджа-развертки по ГГКп позволяет контролировать распространение пласта за счет оценки угла залегания структуры пласта.

## ПОДГОТОВКА К ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫМ РАБОТАМ

В центре стратегии производственного центра «Геофит» находится разработка и постоянное совершенствование технологий высокотехнологичной КНБК, состоящей на 100 % из российского оборудования (рис. 3). Оборудование предназначено для решения актуальных технологических задач, остается доступным и воспроизводимым, обеспечивая непрерывность производства для наших заказчиков.

На протяжении нескольких лет ООО «Технологическая компания Шлюмберже» планомерно проводила подготовку к работе с «импортозамещенной» КНБК типа «Стандартный комплекс ГИС в процессе бурения».

Локализация производства РУС PowerDrive позволила устранить зависимость от оригинальной элементной базы при сохранении всех ключевых характеристик работы прибора, обеспечив непрерывность производства аппаратуры на производственной площадке «Геофит».

Телесистема «СИБ 2» с электромагнитным (ЭМ) и гидравлическим каналом передачи была доработана для обеспечения совместимости с приборами каротажа во время бурения и РУС, а также увеличения надежности, необходимой для эффективного бурения длинных интервалов:

- Последовательно ведется работа по усовершенствованию прибора, увеличению надежности и износоустойчивости, внедрению новых материалов и современных технологий.

- Для коммуникации с приборами каротажа и РУС был разработан модуль сопряжения приборов, также обеспечивающий электропитание всей КНБК от встроенного генератора телесистемы.



Рис. 3. История развития высокотехнологичной КНБК «Геофит»

• В компоновку приборов «Геофит» была интегрирована аппаратура радиоактивного каротажа в процессе бурения в двух типоразмерах: «Энергия121-2ННК-ГГКЛП» и «Энергия172-2ННК-ГГКЛП-ЗГК» производства НПП «Энергия», город Тверь.

Последней технологией, необходимой для сборки российской КНБК типа «Стандартный комплекс ГИС в процессе бурения», был прибор каротажа УЭС, разработка которого велась с 2016 г. Опытно-промышленные работы прибора каротажа УЭС начались в 2021 г., а первая коммерческая работа была выполнена в 2022 г.

Прибор относится к классу высокотехнологичных приборов каротажа в процессе бурения в конструкции с интегрированными в несущую НУБТ антенными катушками, предоставляя скомпенсированные измерения УЭС высокого качества. Извлекаемое шасси с электронными модулями, собираемыми из доступных в России компонентов, проходит техническое обслуживание отдельно от НУБТ, обеспечивая высокий уровень ремонтпригодности и эффективности технического обслуживания оборудования (рис. 4.).

«Геофит» также разработал свой комплекс программного обеспечения, предназначенного для сбора, обработки и визуализации данных, получаемых от наземных датчиков и всех скважинных приборов КНБК типа «Стандартный комплекс ГИС в процессе бурения».

С целью проведения успешной работы интегрированной КНБК на ЧНГКМ, был проведен ряд опытно-промышленных работ:

- Прибор «СИБ 2.2» с ЭМ-каналом был собран совместно с традиционной КНБК типа «Стандартный комплекс ГИС в процессе бурения» с гидравлическим каналом связи, подтвердив возможность передачи стабильного ЭМ-сигнала телеметрии с глубины порядка 4500 м по стволу.

- Были пробурены несколько скважин с телесистемами «СИБ 2» в комбинации с РУС и прибором каротажа УЭС, подтвердившие работоспособность модуля сопряжения и ПО.

- Тестирование интегрированной КНБК в составе «СИБ 2» + «СИБ-Р» + «Энергия121/Энергия172» + РУС на учебной буровой в Сибирском учебном центре «Шлюмберже» подтвердило работоспособность интегрированной КНБК, в том числе, электропитание и корректность работы ПО.

Так как прибор радиоактивного каротажа от НПП «Энергия» уже хорошо зарекомендовал себя на многих месторождениях в России, включая ЧНГКМ, в статье не приводится сравнительный анализ с другой аппаратурой.

Ниже представлены характеристики приборов телеметрии и каротажа УЭС, исходя из которых было принято

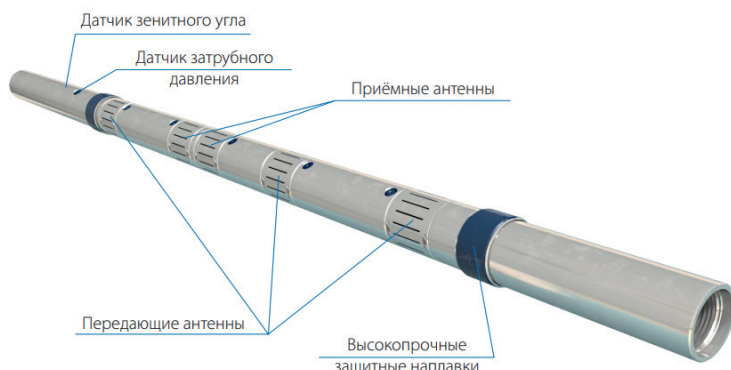


Рис. 4. Внешний вид прибора «СИБ-Р»

решение об их пригодности для работы на Чаяндинском месторождении (табл. 1 и табл. 2).

На основе полученного опыта была поставлена задача организации работы с КНБК в конфигурации «СИБ 2.2» + прибор радиоактивного каротажа «Энергия121-2ННК-ГГКЛП» от НПП «Энергия» + прибор каротажа УЭС «СИБ-Р» + РУС PowerDrive.

Был проанализирован опыт бурения на нефтяных оторочках Чаяндинского проекта. Параметры бурения на проекте находятся в пределах спецификаций выбранного оборудования.

В рамках подготовки к ОПР российской высокотехнологичной КНБК на Чаяндинском месторождении со стороны инженерного центра проведены следующие работы:

1. На основании эскиза КНБК была произведена проверка компонентов – использовано долото Smith Bits с рассчитанными насадками, проверена модель РУС, добавлены и актуализированы остальные элементы, такие как циркуляционный переводник и бурильные трубы.

2. После нескольких технических совещаний совместно рассмотрена возможность исключить калибратор над прибором телеметрии «СИБ», т.к. на основании имеющегося опыта, а также наличия наработок с похожими КНБК с приборами иностранного производства на данном проекте, наличие данного калибратора было признано излишним с точки зрения как жесткости КНБК, в том числе, на срезках на боковые стволы, так и с точки зрения потенциального увеличения ЭЦП.

3. На основании готового и проверенного эскиза КНБК был произведен расчет магнитной интерференции для понимания необходимости использования полноценной немагнитной УБТ над телесистемой, или возможности сокращения длины КНБК за счет использования короткой немагнитной УБТ. По результатам расчета было принято решение оставить полноразмерную немагнитную УБТ.



Табл. 1. Сравнение телеметрических систем «Шлюмберже» и «Геофит»

Характеристики / Модель прибора	SlimPulse	IMPulse / TeleScope	СИБ 2.4	СИБ 2.2
Канал передачи данных	Гидравлический	Гидравлический	Гидравлический	Электромагнитный
Доступные типоразмеры, мм	89, 121, 178, 210	121, 178, 210	121, 178, 210	121, 178, 210
Максимальная температура / давление	150°C / 138 МПа	150°C / 138 МПа	125°C / 80 МПа	125°C / 80 МПа
Инклинометрия и ГК каротажа	+	+	+	+
Измерение вибраций и подклинок	+	+	+	+
Телеметрия извлекаемая?	Да	Нет	Нет	Нет
Расход ПЖ на секции 155.6 мм, л/сек	9.5 - 28	8.2 – 27.7	10 - 24	8 - 24
Скорость передачи данных, бит/сек	до 1	до 12	до 3	до 10
Концентрация кольматанта, кг/м3	114	141	114	141
Источник электропитания	Литиевые батареи	Генератор	Генератор / литиевые батареи	Генератор / литиевые батареи
Возможность электропитания и коммуникации с приборами каротажа и РУС	-	+	+	+

Табл. 2. Сравнение приборов каротажа УЭС «Шлюмберже» и «Геофит»

Характеристики / Модель прибора	EcoScore	IMPulse	arcVISION	mcrVISION	СИБ-Р
Архитектура прибора	Интегрированный в НУБТ	Интегрированный в НУБТ	Интегрированный в НУБТ	Загружаемый в НУБТ	Интегрированный в НУБТ
Доступные типоразмеры, мм	178	121	121, 172, 210+	89, 121, 172, 210+	121, 172
Максимальная температура / давление	150°C / 138 МПа	150°C / 138 МПа	150°C / 138 МПа	100°C / 138 МПа	125°C / 100 МПа
Датчик затрубного давления	+	-	+	-	+
Наддолотный инклинометр	+	+	+	-	+
Измерение вибраций	+	+	+	+	+
Источник питания	Генератор телесистемы	Генератор	Генератор телесистемы / литиевые батареи (опция)	Литиевые батареи	Генератор телесистемы / литиевые батареи (опция)
Межзондовые расстояния	16" – 22" – 28" – 34" – 40"	10" – 16" – 22" – 28" – 34"	16" – 22" – 28" – 34" – 40"	33"	16" – 22" – 34"
Рабочие частоты	400 кГц, 2 МГц	2 МГц	400 кГц, 2 МГц	400 кГц, 2 МГц	400 кГц, 1.8 МГц
Погрешность измерений (низ диапазона УЭС)	2-3 %	3-5 %	2-3 %	3-5 %	2-3 %



4. Имея в наличии фактические параметры бурового раствора и планируемый расход, были произведены расчеты гидравлики для проверки давлений (в том числе планируемых перепадов на используемые приборы) и планового ЭЦП.

5. Используя комплекс ПО IDEAS, было проведено моделирование латеральных вибраций и изгибающих нагрузок на изолятор телесистемы, показав отсутствие рисков, связанных с работой с использованием РУС при скорости вращения буровой колонны до 120 об./мин.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРВОЙ РАБОТЫ КНБК «СТАНДАРТНЫЙ КОМПЛЕКС ГИС В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ + РУС», РАЗРАБОТАННОЙ И ПРОИЗВЕДЕННОЙ В РФ

В рамках данной работы осуществлено два спуска тестируемого оборудования:

1. КНБК в составе «СИБ 2.2» + прибор радиоактивного каротажа «Энергия121-2ННК-ГГКЛП» + прибор каротажа УЭС «СИБ-Р» + РУС PowerDrive.

2. Классическая КНБК «Шлюмберже» с гидравлическим каналом телеметрии совместно с приборами «СИБ-Р» и «СИБ 2.2» для проверки сходимости показаний УЭС приборов «СИБ-Р» и IMPulse.

Суммарно было пробурено три боковых ствола общей протяженностью 3520,5 м, произведена срезка в два боковых ствола (рис. 5).

Максимально достигнутый отход от устья скважины составил 1300 м при вертикальной отметке 1961 м.

Одним из важных критериев успешности работы являлась стабильная передача данных ГИС в процессе бурения для петрофизических и геонавигационных задач. Использовался пакет данных реального времени, включающий весь комплекс данных в соответствии с требованиями геологического отдела сопровождения бурения, включающий следующие параметры:

- гамма-каротаж;
- удельное электрическое сопротивление;
- объемная плотность породы, интегральная;
- объемная плотность породы, по нижнему квадранту;
- нейтронная пористость, интегральная;
- имидж-развертка по объемной плотности породы (16 секторов);
- поправка в плотностной метод, для оценки состояния прибора;
- затрубное давление и температура;
- наддолготная динамическая инклинометрия и гамма-каротаж от РУС.

На рис. 6 представлен пример данных, полученных в реальном времени при скорости передачи данных 6 бит/сек. Наблюдается стабильное поведение регистрируемых параметров, где по имидж-развертке выделяются внутренние неоднородности пласта.

Также отмечается высокая плотность данных в реальном времени при скорости проходки до 30 м/ч с запасом на увеличение МСП (табл. 3).

Важным моментом при реализации передачи данных в процессе бурения является необходимость согласования измерений, полученных между реальным временем и из памяти прибора. В результате проведенной работы была представлена хорошая сходимость измеренных параметров и также имиджа-развертки по плотностному методу (рис. 7). Стоит отметить, что имидж-развертка

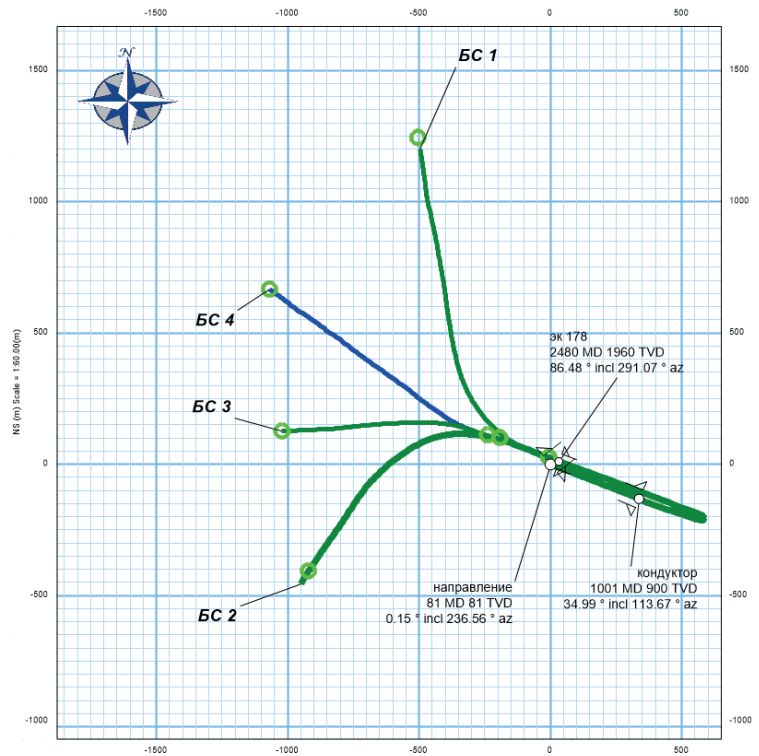


Рис. 5. Плановая траектория боковых стволов скважины

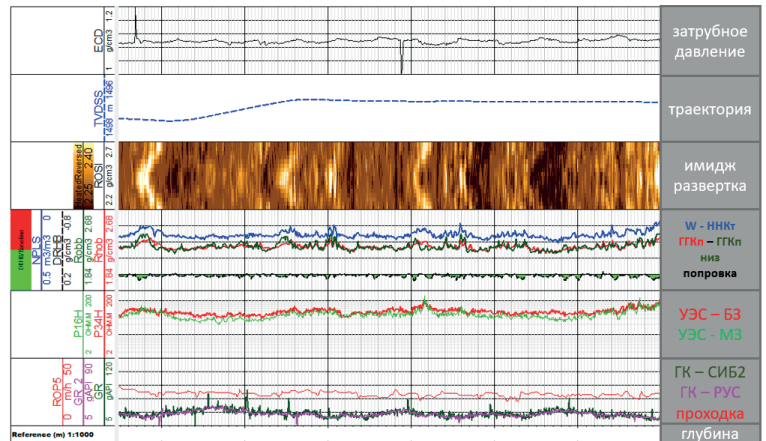


Рис. 6. Пример данных ГИС ГГ-УЭС-ГГКл-ННКт-Имидж-развертка в процессе бурения с комплекса приборов СИБ2 – СИБ-Р – Энергия 121, полученных в реальном времени

Табл. 3. Плотность передаваемых данных ГИС во время бурения

Измерение	Количество точек на метр, телеметрия 6 бит/с, МСП 30м/ч
ГК	5.6
УЭС	4.2
Плотностной имидж	4.2
Плотность, пористость	3.0

в реальном времени, по которой хорошо наблюдаются внутренняя неоднородность пласта, стабильно передавалась по 16 секторам.

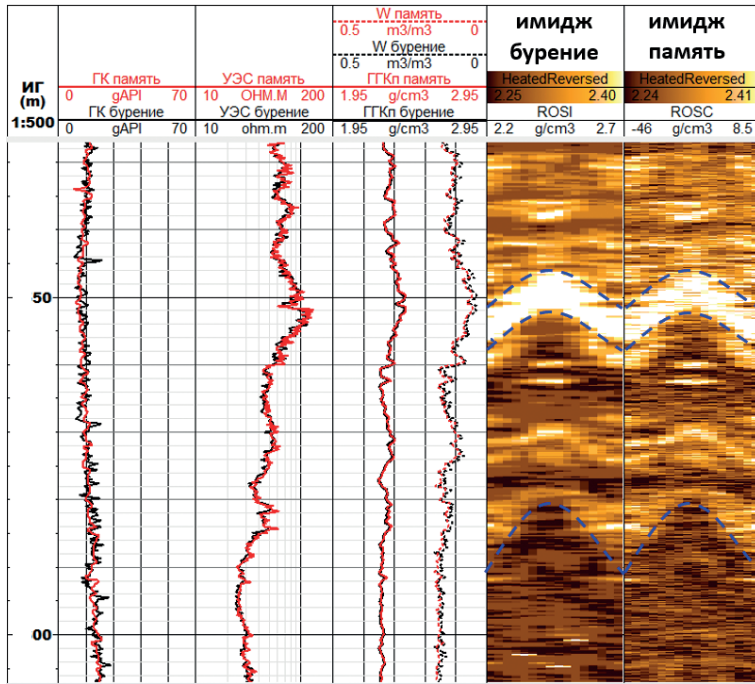


Рис. 7. Сопоставление измерений, полученных в реальном времени при бурении (черные кривые) и из памяти прибора

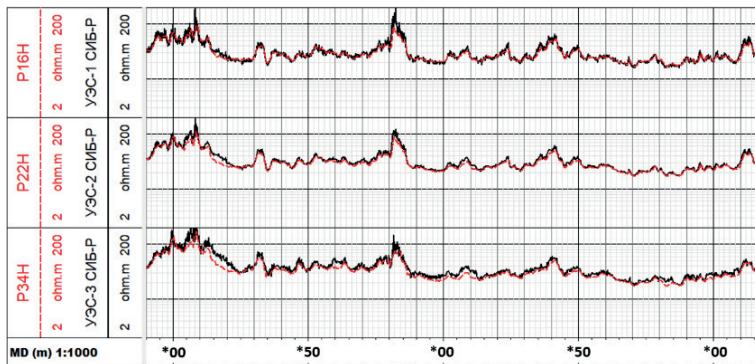


Рис. 8. Сопоставление данных УЭС от прибора СИБ-Р (черные кривые) относительно эталонного прибора ImPulse (красные кривые) по сдвигу фаз

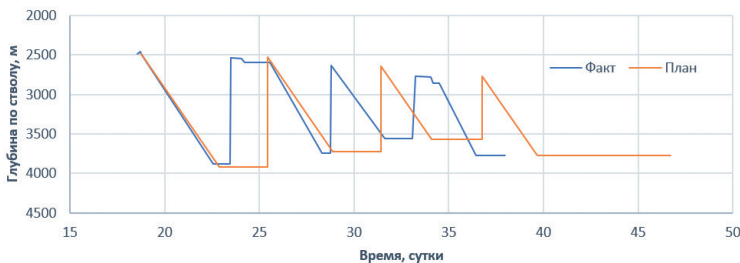


Рис. 9. Фактический график бурения скважины в сравнении с плановым

В одном из запланированных рейсов в КНБК было включено два прибора УЭС: ImPulse и «СИБ-Р» для оценки качества каротажных данных прибора «СИБ-Р». На рис. 8 представлено сравнение кривых УЭС от разных зондов между приборами ImPulse и «СИБ-Р».

В целом наблюдается согласованность данных, с незначительными расхождениями в пределах погрешности измерений приборов для сдвига фаз, при этом

показания УЭС по затуханию для прибора СИБ-Р требуют доработки по переводу исходных регистрируемых данных в показания УЭС.

КНБК выполнила все поставленные задачи по бурению и геонавигации. Замена приборов телеметрии и каротажа на российские никак не сказалась на функционировании РУС. Телесистема «СИБ 2.2» продемонстрировала возможность передачи данных телеметрии на высокой скорости в 6 бит/сек. на протяжении всего рейса, обеспечив плотность передаваемых данных в 3-6 точек на метр при МСП в 30 м/ч. Для сохранения достаточной плотности данных МСП может достигать 60 м/ч при скорости передачи данных 6 бит/сек. (рис. 9).

Использование РУС с максимальной эффективностью, а также переход на электромагнитный канал передачи данных телеметрии, позволили пробурить скважину с опережением планового графика бурения.

## ВЫВОДЫ

Главным успехом испытаний стало использование российской высокотехнологичной КНБК с высокоскоростной телеметрией (6 бит/сек.) для бурения горизонтальных скважин с передачей полного комплекса ГИС, включая имиджи плотности, без ограничения МСП.

Все использованное оборудование выпускается серийно на территории РФ, что позволит в короткие сроки масштабировать технологию и удовлетворить растущие потребности ТЭК России.

## Бурение

- Были полностью пробурены БС1, БС2 и БС3 согласно плановой траектории и без инцидентов.

- Успешно произведены срезки в открытом стволе в БС2 и БС3.

- ЭМ-канал передачи данных позволил принимать замеры инклинометрии сразу после запуска насосов, а также отправлять команды на РУС при бурении без отрыва от забоя, тем самым оптимизируя сроки бурения.

## Передача телеметрических данных и работа КНБК

- Стабильный сигнал наблюдался на различных режимах телеметрии со скоростью передачи от 2 до 6 бит/сек.

- Стабильный сигнал при 6 бит/сек. обеспечил передачу полного комплекса ГИС в режиме реального времени, включая имиджи плотности с большим запасом по увеличению МСП.

- Зафиксировано 100 %-е принятие команд телесистемой СИБ для переключения режимов телеметрии, 100 %-е принятие команд РУС.

- Наблюдалась непрерывная коммуникация и корректность передачи данных между приборами КНБК.

## Качество ГИС в реальном времени

- Получены качественные данные нейтронно-плотностного каротажа, включая имидж-развертку плотности по 16 секторам в реальном времени.

- Отмечено хорошее согласование ГК ImPulse и СИБ, но требуется доработка поправочных коэффициентов СИБ.

- Были получены хорошие данные УЭС по сдвигу фаз, измерения УЭС по затуханию требуют доработки. ■