



Weatherford®



Drilling



Evaluation



Completion



Production



Intervention

MotarySteerable™ Technology



Основные моменты

- Теория: варьирование частоты вращения долота в зависимости от направления
- Стендовые испытания
- Бурение на испытательном полигоне
- Характеристики системы
- Первые данные с реальных скважин
- Заключение

**Теория: варьирование частоты
вращения долота в зависимости
от направления**



Традиционная компоновка с ВЗД



Двигатель с выставленным углом
перекоса при вращении бурит **прямо**



Двигатель с выставленным углом
перекоса без вращения бурит **по кривой**



Еще теория

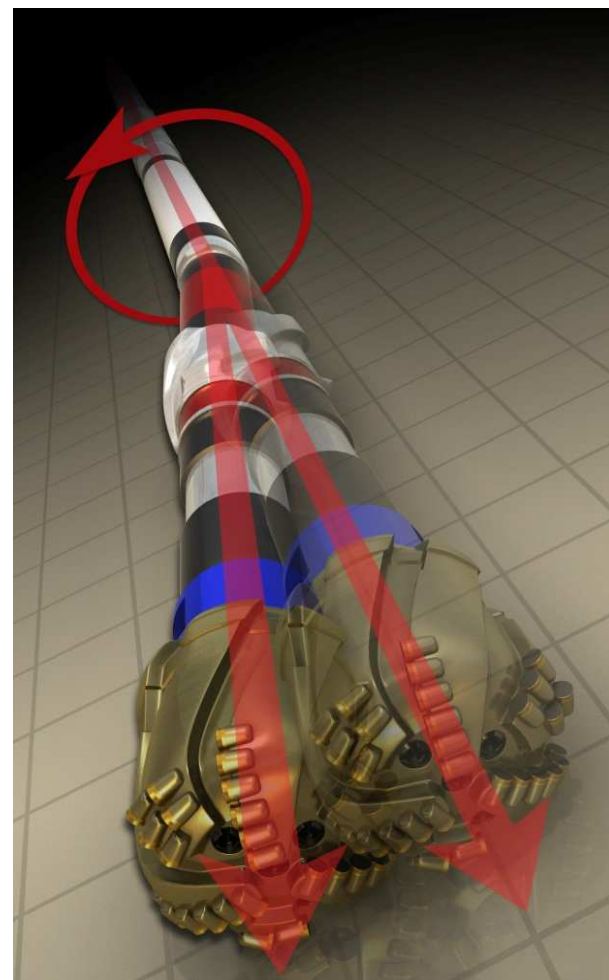
Двигатель с выставленным углом искривления вращает долото за счет:

Вращения, создаваемого самим двигателем

+

Вращения колонны

При бурении ротором, момент на долоте, создаваемый двигателем, действует равномерно по всей окружности ствола.





Motary Steerable

Контроль над частотой вращения долота, обеспечиваемой двигателем, должен позволить контролировать траекторию ствола.

- Ускорение вращения отклоняет траекторию в желаемом направлении
- В противоположном направлении вращение долота замедляется



♥ Традиционная компоновка



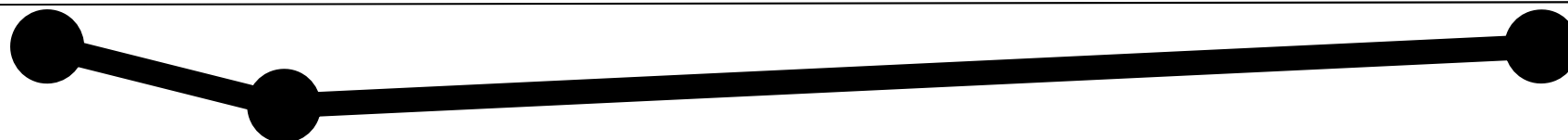
При постоянном расходе раствора и числе оборотов ротора двигатель бурит прямую секцию



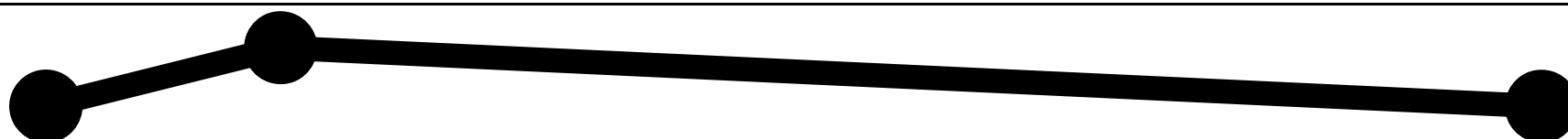
При постоянном расходе и с нулевыми оборотами роторами двигателя бурит по кривой



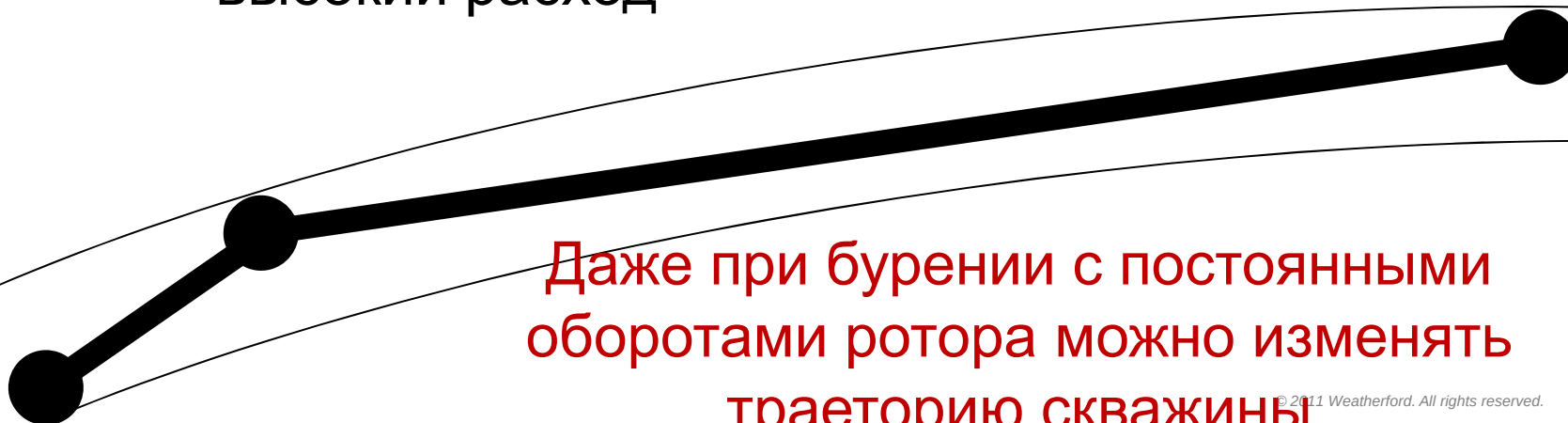
Что если скорость вращения долота варьируется?



Низкая скорость долота – низкий расход



Высокая скорость долота –
высокий расход



Даже при бурении с постоянными
оборотами ротора можно изменять
траекторию скважины

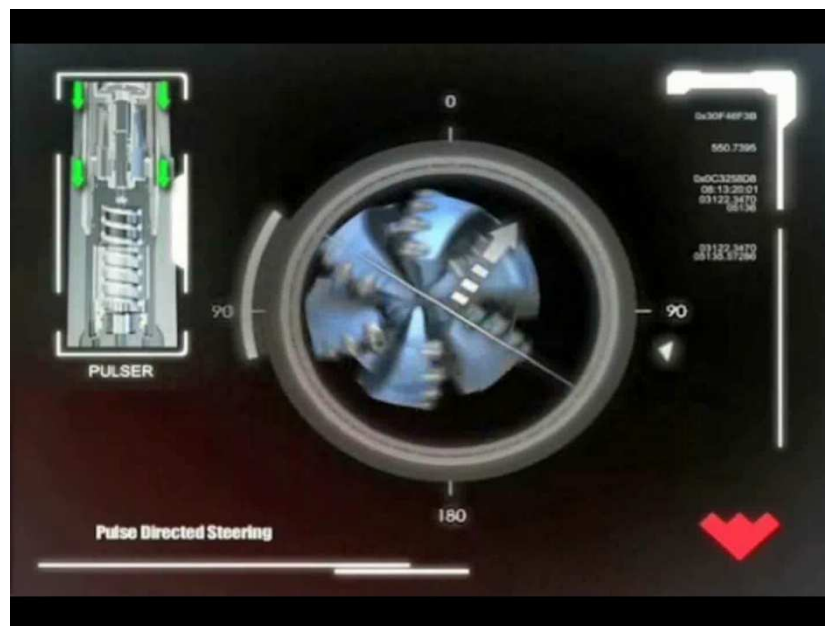


Контроль оборотов на вале двигателя

Низкий расход жидкости = ниже скорость вращения долота
= ниже скорость бурения

Большой расход жидкости = выше скорость вращения долота
= выше скорость бурения

Непрерывная модуляция
расхода жидкости
позволит получить
ожидаемое отклонение
траектории ствола





В чем преимущества?

- Технология основывается на проверенных решениях, используемых в ВЗД и системах MWD, доказавших свою надежность.
- Позволяет непрерывно вращать колонну, сохраняя полный контроль над траекторией в трех измерениях.
- Для бурения секций с большой интенсивностью набора угла может применяться режим слайдирования
- В итоге – увеличение скорости проходки и качества ствола, в том числе за счет значительного сокращения времени слайдирования.

Стендовые испытания



Эксперименты

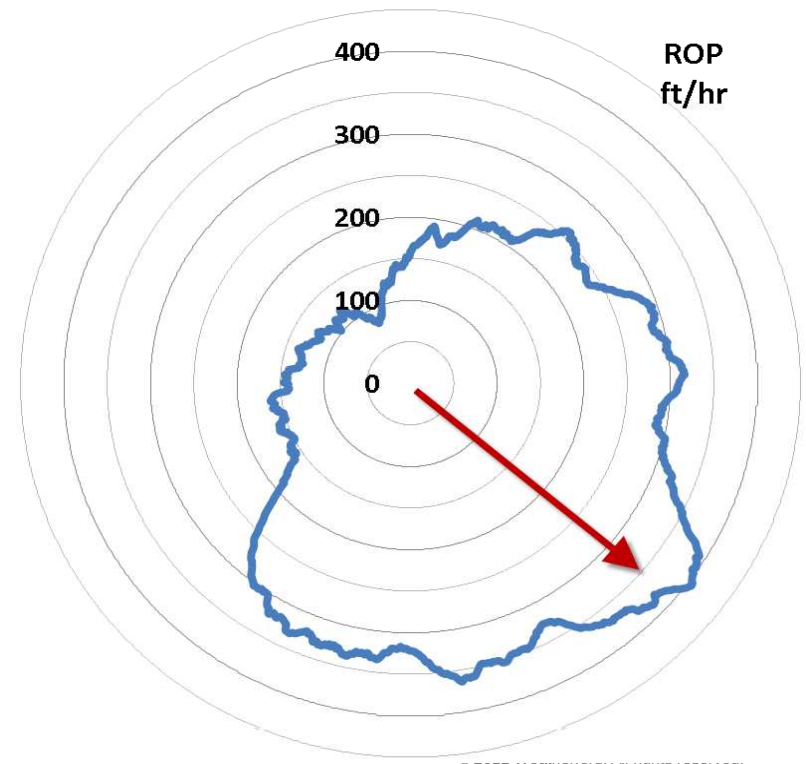
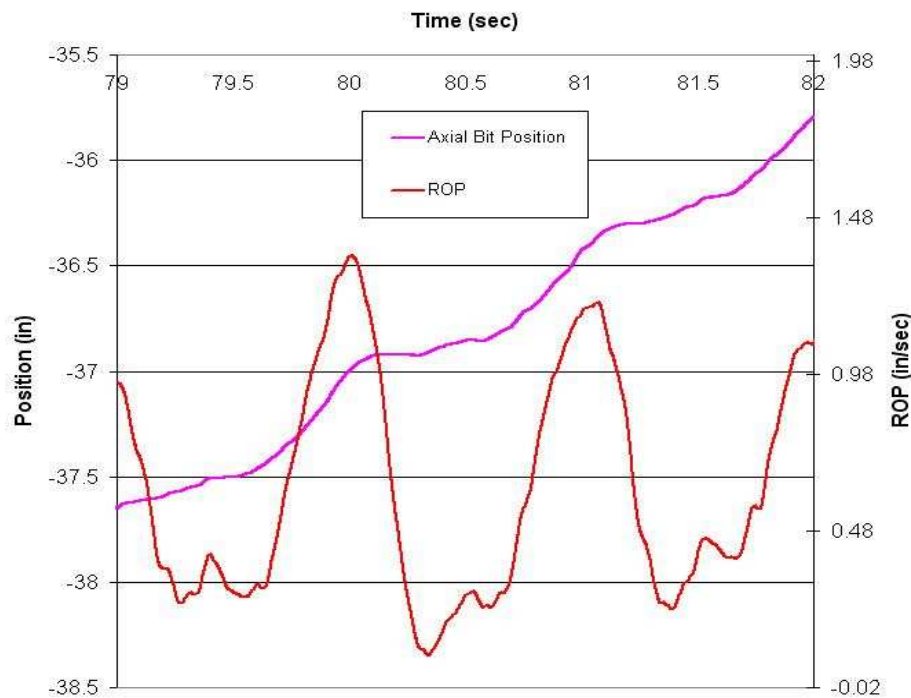
- «Лаборатория»
 - ✓ С помощью специализированного стенда пробурены стволы.
 - ✓ Была собрана подробная информация по скорости бурения и поведению компоновки.





Подтверждение теории

- Направление бурения зависит от скорости вращения долота





Результаты стендового бурения

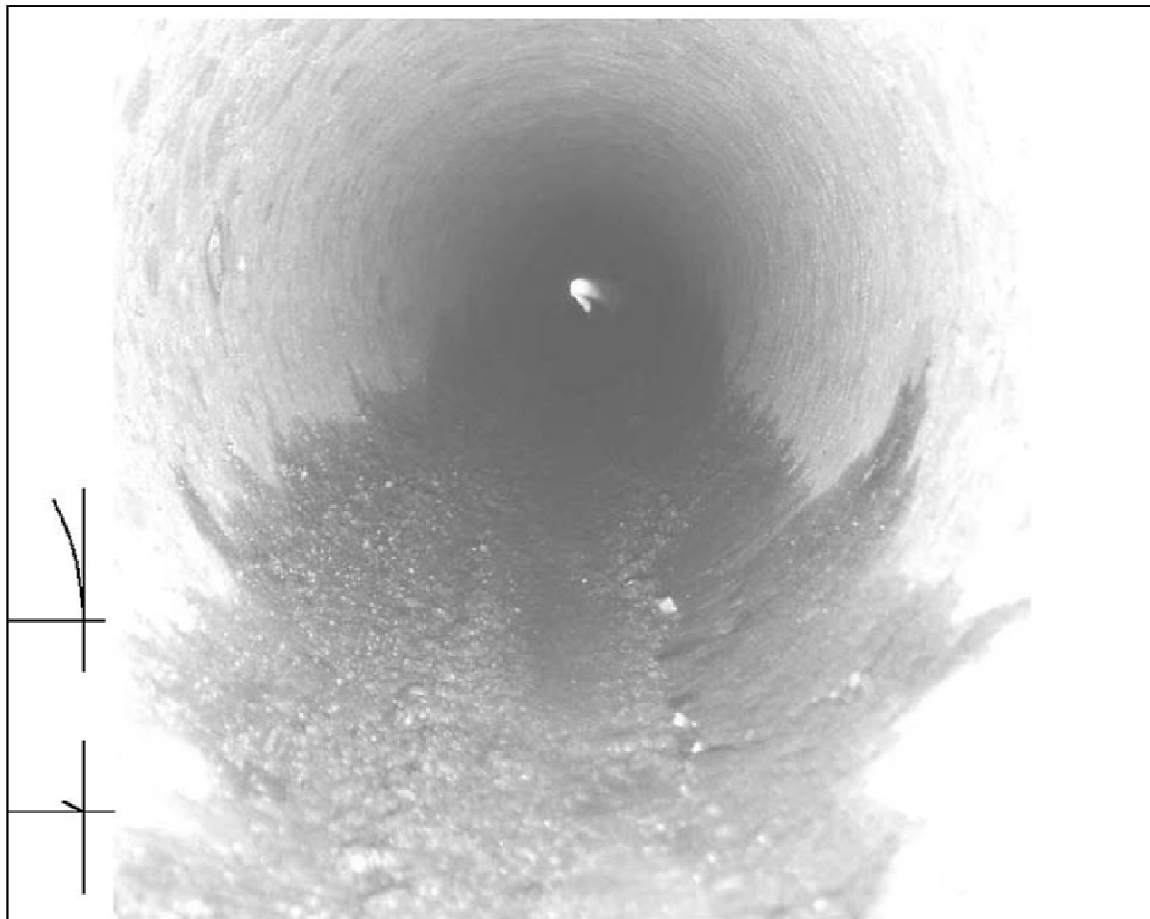
Бурение в цементном блоке показало корреляцию величин скорости проходки и направления

Скв.	Размер долота	Долото	Двигатель	Модуляция	BUR	Comments
1	6 1/8"	PDC	4 3/4" 7:8 2.0	Механическая	Определить не удалось	Произошел набор угла
2	6 1/8"	PDC	4 3/4" 7:8 , 2.0	Механическая	Определить не удалось	Произошел набор угла
3	6 1/8"	PDC	4 3/4" 7:8 , 3.8	Электронная	5-6 градусов	Набран значительный угол
4	6 1/8"	PDC	4 3/4" 7:8 , 3.8	Электронная	5-6 градусов	Набран значительный угол
5	6 1/8"	PDC	4 3/4" 7:8 , 3.8	Электронная	5-6 градусов	Набран значительный угол
6	6"	Шарошка	4 3/4" 7:8 , 3.7	Электронная	1-2 градуса	Плохое качество ствола
7	8 1/2"	PDC	6 3/4" 7:8 , 3.0	Электронная	2-3 градуса	Небольшой набор угла
8	8 1/2"	PDC	6 3/4" 7:8 , 3.0	Электронная	Определить не удалось	Провалились в ранее пробуренный ствол
9	8 1/2"	PDC	6 3/4" 7:8 , 5.0	Электронная	Определить не удалось	Провалились в ранее пробуренный ствол



Результаты стендового бурения

Одновременный набор угла с поворотом по азимуту





Результаты стендового бурения

Отличное качество ствола



All rights reserved.

Бурение на испытательном полигоне



Бурение на испытательном полигоне



Институт технологии
газа (GTI)
Полигон
Катуза, Оклахома

- Задача – подтвердить данные, полученные на стенде
- Полигон GTI известен многообразием пород и различными условиями бурения



Бурение на испытательном полигоне

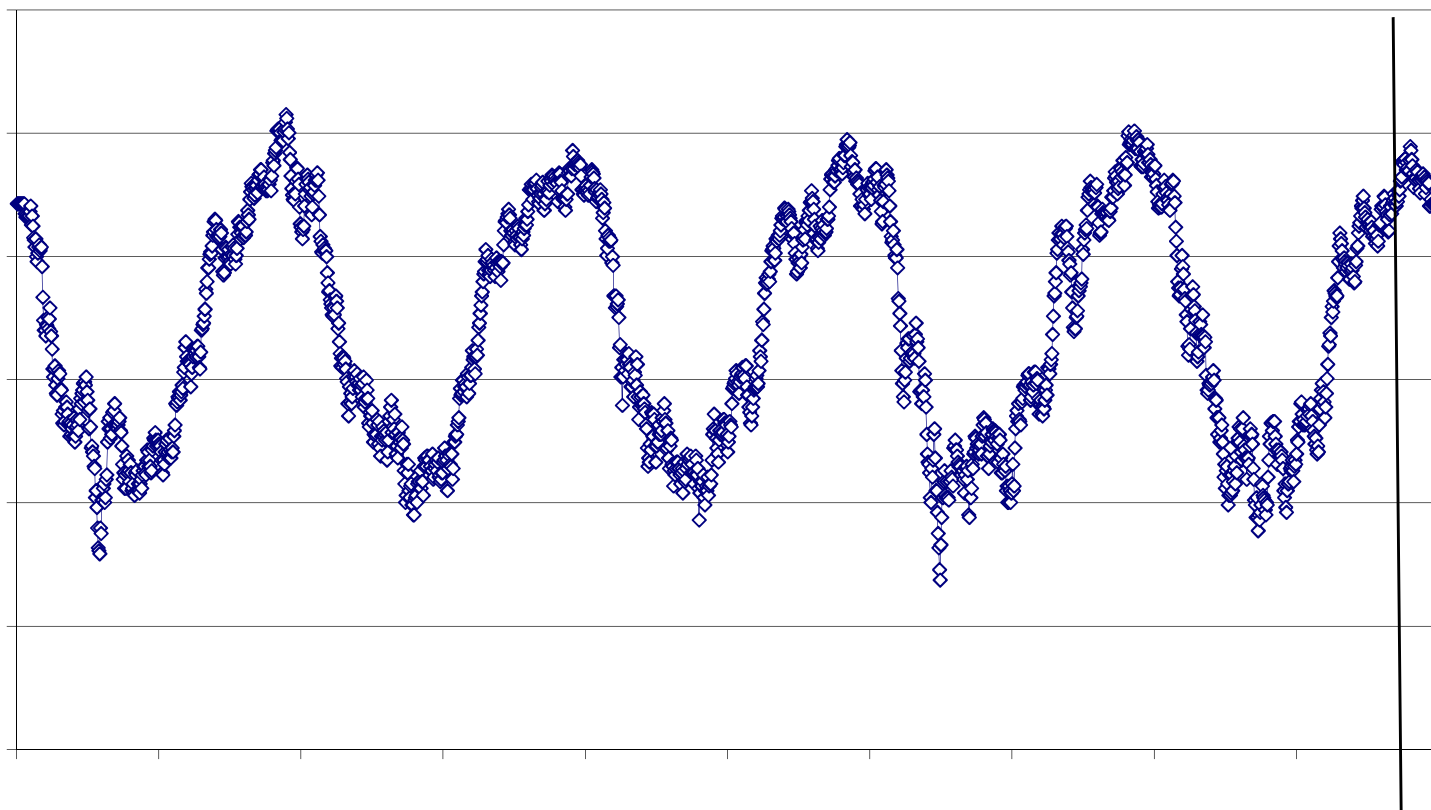
- Скв. 1 – Подтверждение стендовых результатов
- Скв. 2 – Определение уровня эффективности системы в размере 4 3/4"
- Скв. 3 – Проверка в большем стволе
- Скв. 4 – Определение уровня эффективности системы в размере 6 3/4"
- Скв. 5 – Тест внесенных улучшений в систему
- Скв. 6 - Определение уровня эффективности системы в размере 8"

Скв.	Долото	Двигатель	Долблений сделано	Пробурено, футов	Набор угла	Comments
1	6 1/8 "	7:8 , 3.8	3	1,231	2.3 гр.	Уход с вертикали, с цементного моста.
2	6 1/8 "	7:8 , 3.8	8	1,506	2.6 гр.	Хороший контроль над траекторией
3	8 1/2 "	6:7 , 4.8	3	1,415	2.6 гр.	Неудовлетворительный контроль над траекторией
4	8 1/2 "	7:8 , 5.0	5	1,585	2.8 гр.	Использовались и PDC и шарошки
5	8 1/2 "	7:8 , 5.0	5	1,138	2.3 гр.	
6	12-1/4"	7:8 , 2.5	1	1,334	1.62 гр.	Хороший контроль над траекторией



Бурение на испытательном полигоне

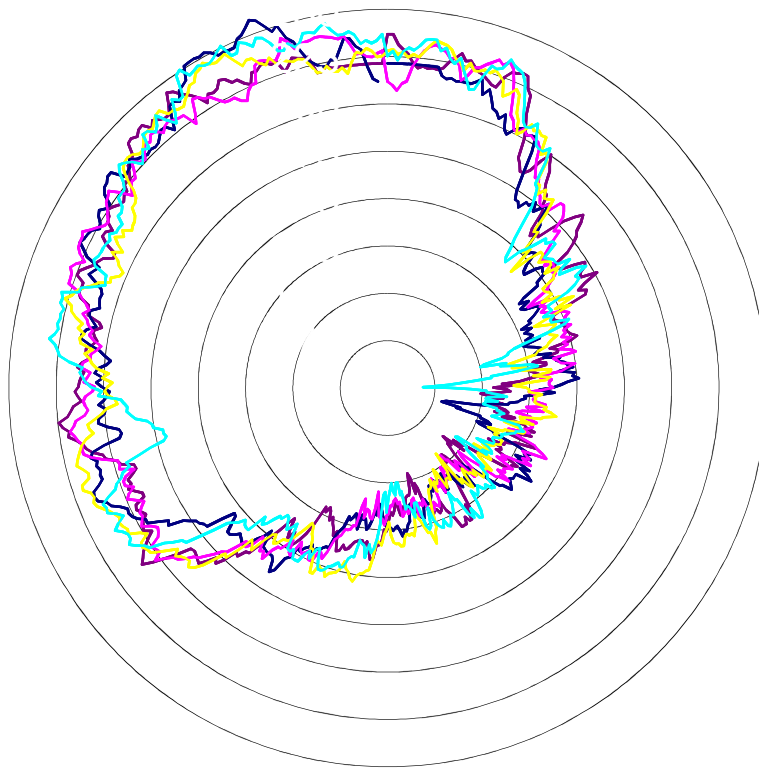
График угловая скорость долота - время





Бурение на испытательном полигоне

Скорость вращения долота как функция
от положения отклонителя



Характеристики системы



Характеристики

Tool Size (in.)	4-3/4	6-1/2	6-3/4	8-1/4
HyperLine™ 250 power section (lobe, stage)	7:8 5.0	7:8 3.0	7:8 5.0	7:8 4.0
Capable hole diameter (in./mm)	5.875 to 6.750 149 to 172	7.875 200	8.500 to 9.875 216 to 251	10.625 to 12.250 270 to 311
Maximum rotary dogleg severity (DLS) (°per 100 ft/30 m)	3.0°	2.0°		1.5°
Maximum oriented DLS (°per 100 ft/30 m)	15°	8°		6°
Tool length (ft/m)	63.94 19.49	64.50 19.66	64.99 19.81	65.42 19.94
Top connection	3-1/2 API IF box	4-1/2 API IF box		5-1/2 API IF box
Bottom connection	3-1/2 API Reg box	4-1/2 API Reg box		5-1/2 API Reg box
Minimum vertical kickoff angle	0°			
Flow rate range (gpm/Lpm)	150 to 300 568 to 1,136	200 to 600 757 to 2,271	300 to 600 1,136 to 2,271	300 to 900 1,136 to 3,407
Bit speed range (rpm)	50 to 335	40 to 160	45 to 240	300 to 1,000
Maximum torque output (ft-lb/N•m)	5,620 7,622	6,810 9,234	12,780 17,330	18,320 24,842
Maximum power output (hp/kW)	300 224	175 131	370 276	490 365
Maximum differential pressure (psi/kPa)	1,200 8,274	600 4,137	1,200 8,274	1,000 6,895
Maximum body overpull (static load) (lbf/daN)	185,000 82,000	288,000 128,000	387,000 171,000	444,000 197,500
Maximum bit overpull (static load) (lbf/daN)	51,000 23,000	81,000 36,000	95,000 42,000	112,000 49,800
Maximum operating temperature (°F/°C)	150 °C – в стандартном исполнении: 180 °C – в специализированном			
Maximum operating pressure (psi/kPa)	30,000 206,843			25,000 172,369
Maximum sand content	2%			



Выводы

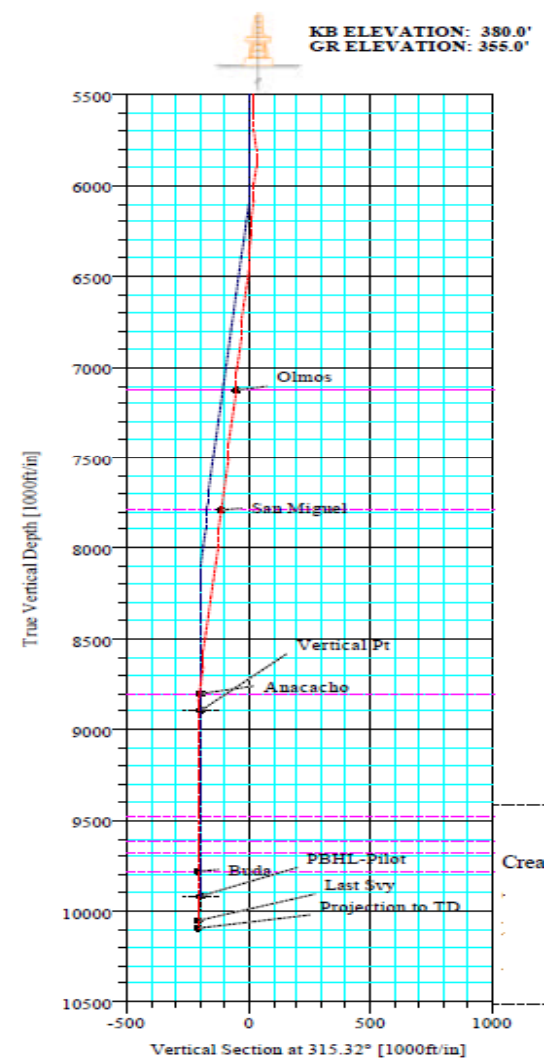
- Технология хороша настолько, насколько продуманы ее составляющие
 - Двигатель
 - Управляющая электроника
 - Долота
 - Стабилизация и центрирование
- Наилучшие показатели работы достигнуты с нейтральной КНБК и подходящими долотами
- Особенности
 - Возможность бурения в слайде
 - Прекрасный контроль над положением отклонителя даже при малых углах
 - Наибольший эффект достигается с долотами больших размеров

Первый этап тестирования на реальном месторождении



Испытание 1 – 3 скважины

- Месторождение сланцевого газа Eagle Ford Shale
- Наклонно-направленная скважина с небольшим смещением
- Размер ствола 250 мм
- Раствор на нефтяной основе
- Пробурено ~4900 м на 3 скважинах
- Все 3 скважины пробурены с хорошей степенью контроля над вертикальностью, набором угла и удержанием угла.





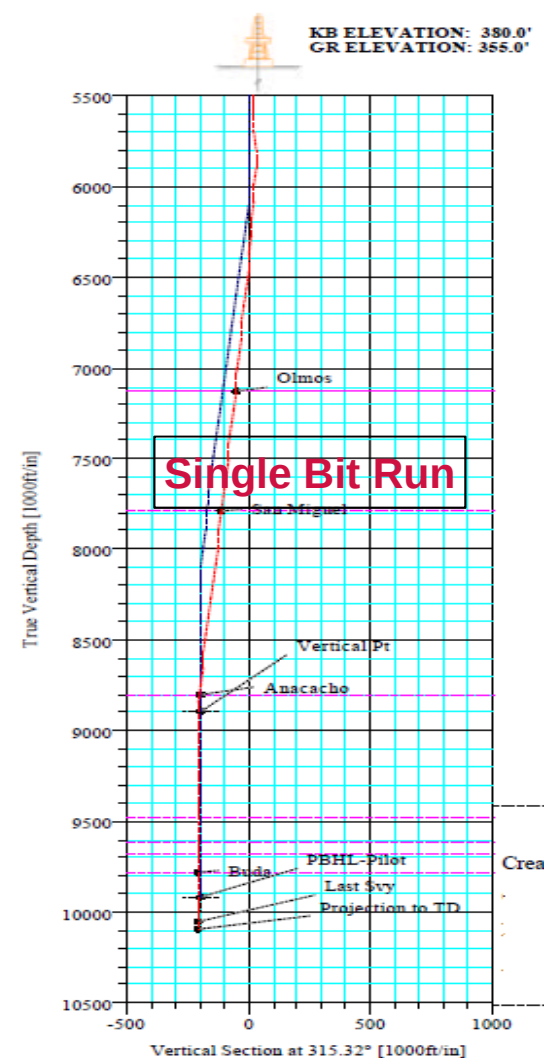
Испытание 1 – Результаты

Спуск	Секция	Проходка	Часы	Скорость бурения, ср.	
Скв.1					
1	Пилот	1345 м	28.74	46,7 м/ч	Использовалась для обеспечения вертикальности, затем набора угла, удержания и возврата к вертикали. Хороший контроль за траекторией.
Скв.2					
1	Пилот	1188 м	37.43	31,7 м/ч	Хороший контроль над траекторией позволил обеспечить прямолинейное бурение. Подъем КНБК для оценки состояния двигателя.
2	Пилот	447 м	18.48	24,2 м/ч	Хороший контроль над траекторией позволил обеспечить прямолинейное бурение.



Испытание 1 – Результаты

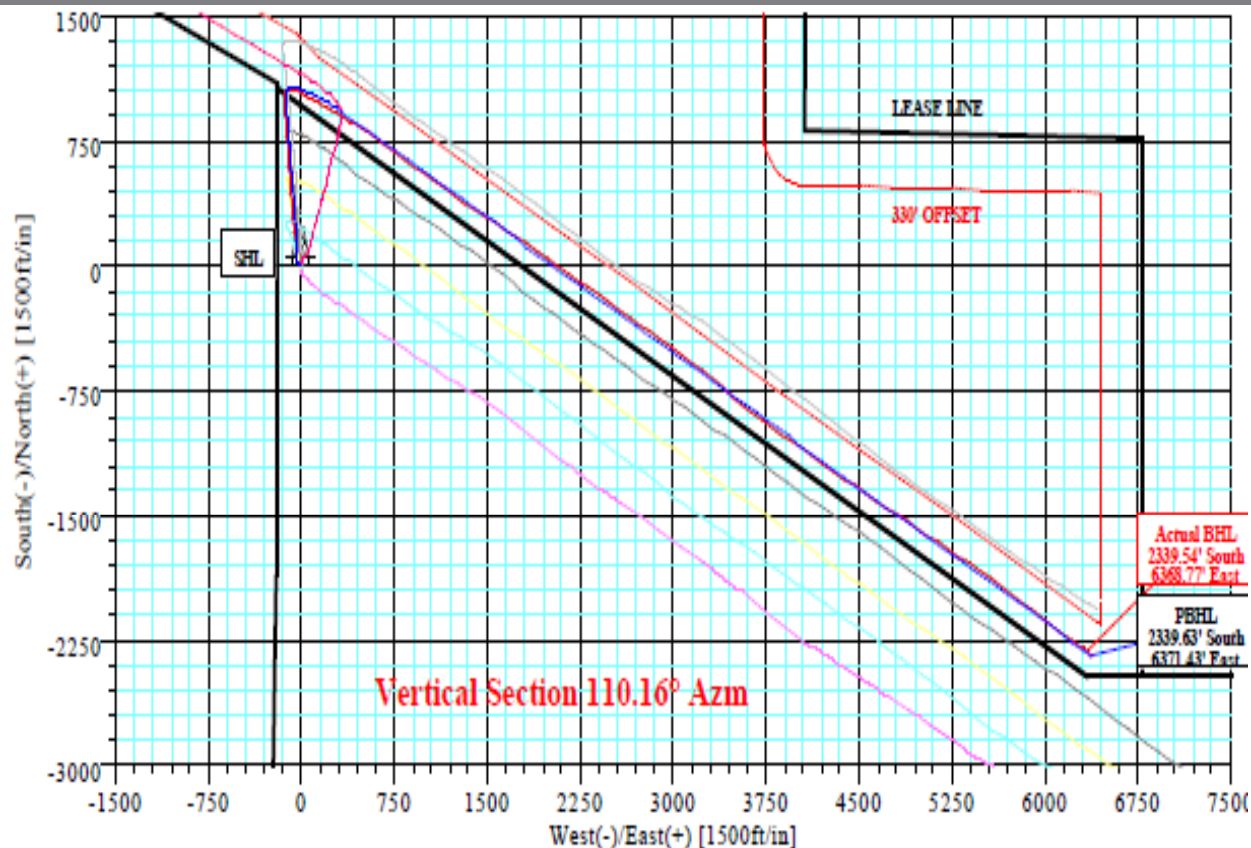
Скв. 3	
Секция	Пилот
Проходка	2031 м
Часы	72.58
Скорость	28 м/ч
	✓ Пилот пробурен одним долблением ✓ За все время бурения были сделаны 2 коротких слайда ✓ Отличный контроль за положением отклонителя при углах, близких к вертикали ✓ 96% времени бурение ротором





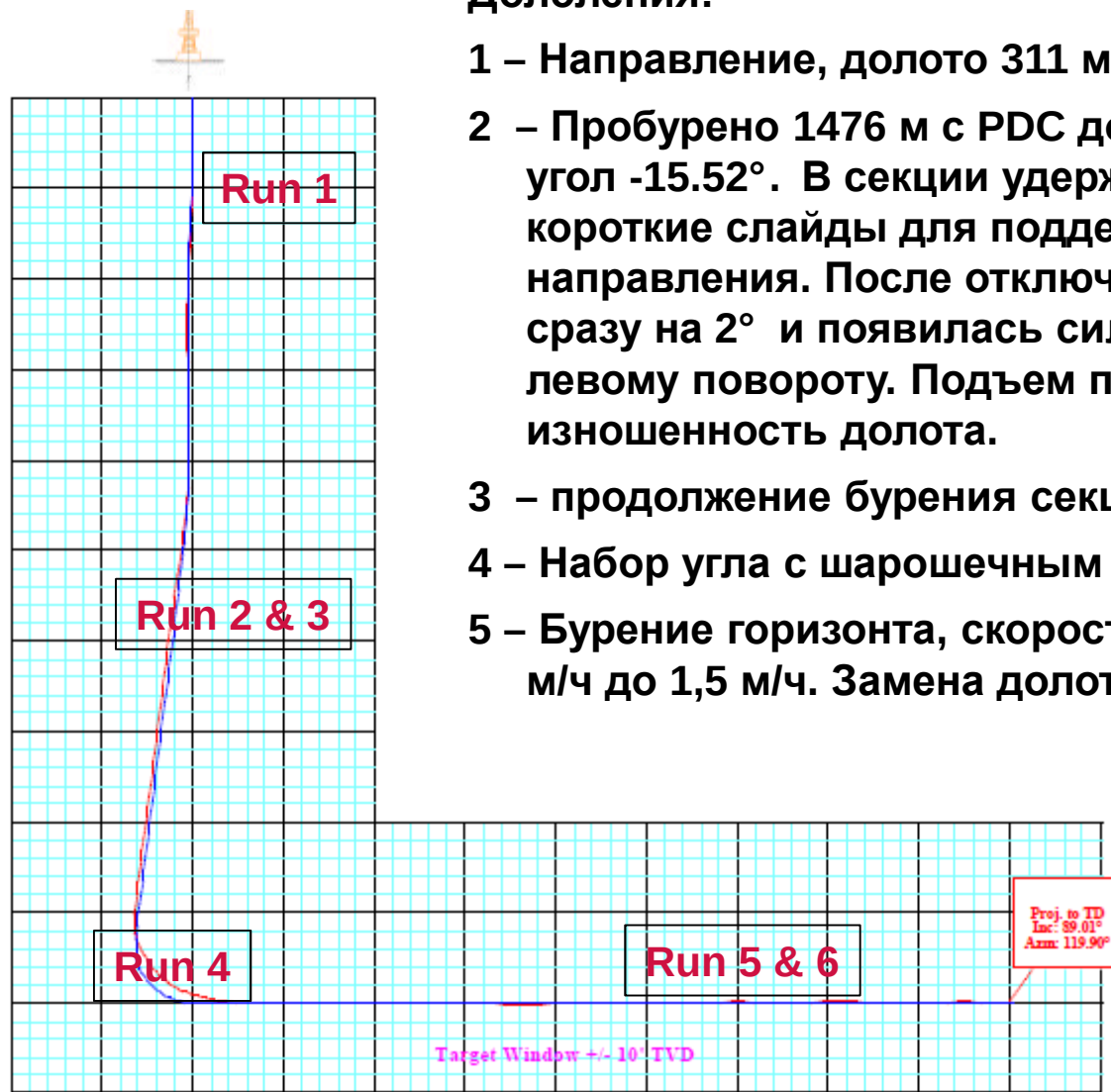
Испытание 2

- М-р Барнетт Шэйл
- Секция 222 мм
- Кустовое бурение
- 4 секции
 - Направление
 - Основной ствол
 - Набор угла
 - Горизонт
- Раствор на нефтяной основе
- Пробурено 4090 м, вкл. горизонт длиной 1982 м, пробуренный вдоль границы геологического блока, не выходя из него.





Испытание 2



Долбления:

- 1 – Направление, долото 311 мм.
- 2 – Пробурено 1476 м с PDC долотом 222мм. Набран угол -15.52° . В секции удержания угла делались короткие слайды для поддержания заданного направления. После отключения MSS, угол упал сразу на 2° и появилась сильная тенденция к левому повороту. Подъем показал сильную изношенность долота.
- 3 – продолжение бурения секции.
- 4 – Набор угла с шарошечным долотом в слайде
- 5 – Бурение горизонта, скорость варьировалась от 5 м/ч до 1,5 м/ч. Замена долота и двигателя.
- 6 – Продолжение бурения горизонта. Без MSS происходит набор угла и правый поворот. MSS позволяет бурить точно прямо.



Испытание 2

	Секция	Проходка	Часы	Скорость, м/ч	
1	Направление	1,231	6.00	215	Режим MSS не использовался
2	Основная	4,838	63.00	77	MSS позволяет бороться с сильной тенденцией КНБК к набору угла
3	Основная	805	13.25	61	Время слайда сокращено на 13%.
4	Набор угла	1,186	41.50	29	Режим MSS не использовался
5	Горизонт	3,370	38.00	89	Режим MSS позволил бороться с тенденцией КНБК к набору угла и разворота по азимуту
6	Горизонт	3,172	39.00	81	Бурение 95% горизонта ротором. Снижение доли слайда на 67%.



Выводы

- Хорошая управляемость; достижение интенсивности 3 гр./30 м.
- Если требуется большая интенсивность – сохраняется возможность использование режима слайда.
- Критический аспект – равномерность вращения колонны
- КНБК и долото играют важную роль в успешном применении системы
- Хорошие результаты как при бурении горизонтальных стволов, так и вертикальных