Петр Прзыбыло | Piotr Przybylo

Процесс навигации скважины Применение системы связи «Светофор» и методов смены целей в геонавигации

Well Navigation Process: Application of Traffic Light Communication System and Target Changing Methods in Geosteering

Тандем геонавигатора и оператора наклонно-направленного бурения (ННБ)

Как ни рассматривай геонавигацию, там всегда будет присутствовать ограниченный набор точной информации, элементы которой разбросаны по всей траектории скважины. Когда востребована геонавигация, ничем нельзя заменить геологическое и техническое понимание участка, на котором ведется бурение, а также крайне важна способность, достаточно хорошо приближаться к реальности, и принимать информированные решения по навигационному управлению. Поэтому, никогда нельзя игнорировать или недооценивать человеческий фактор в геонавигации. Несмотря на то, что в геонавигации применяется наиболее продвинутое оборудование, ответ на основной и наиболее важный вопрос «двигаться дальше вверх

Geosteerer – Directional Driller Duo

For all geosteering approaches, what is precisely known is limited and sporadically located along the wellbore trajectory. When geosteering is required, there is no substitute for geologic and engineering knowledge of the area being drilled, the critical ability to approximate reality sufficiently well and to make informed directional steering decisions. Therefore, the human aspect of geosteering should never be forgotten or underestimated. Regardless of the most advanced tools used for geosteering, the ultimate and most crucial question whether “to steer up or steer down?» will always be answered only by a geosteerer and executed by a directional driller.

The relationship between the geosteerer and directional driller is the most crucial and imperative of all for the ultimate success of the geosteering process.

или вниз?» всегда сможет дать только инженер-геонавигатор, а выполнить маневр сможет лишь оператор ННБ.
Отношения между геонавигатором и оператором ННБ являются наиболее важным элементом из всего, что способствует успеху в процессе геонавигации.
Данная статья подробно описывает наиболее важные аспекты процесса коммуникации между геонавигатором и оператором ННБ; частоту передачи инструкций (сигналов), тип информации, а также конкретные обстоятельства, при которых информацию следует передавать.

Коммуникация с оператором наклонно-направленного бурения (ННБ)

Геонавигатор - это человек, который посредством анализа данных в реальном времени и их интерпретации, обладает всей полнотой информации, необходимой для направления скважины в пределах узкой горизонтально расположенной цели. Однако, именно оператор ННБ сможет физически провести скважину в правильном направлении. Хорошие отношения между геонавигатором и оператором ННБ зачастую определяют конечный успех всей операции.

Времени, потраченному на улучшение отношений между геонавигатором и оператором ННБ следует уделять первоочередное внимание, и включать его в полную стоимость любых операций по геонавигации. Рекомендуется, чтобы команда по геонавигации, т.е. геонавигатор и оператор ННБ, до начала бурения проводили некоторое ценное время в общении, создающем определенную стоимость, и посвященном проверке позиций друг друга, подтверждающем взаимопонимание поставленных задач геонавигации. Понимание намерений геонавигатора позволит оператору ННБ более адекватно реагировать на его команды.

Также очень важно выстраивать процесс коммуникации в обоих направлениях. Операторы ННБ обладают наиболее лучшим пониманием особенностей работы КНБК и ее реакций на переориентирование, когда она эксплуатируется надлежащим образом. Это пойдет на благо всей операции управления, и будет способствовать более эффективному и действенному выполнению маневров. Отсюда следует, что обе стороны равноответственны за развитие крепких отношений.

Ключевая информация, необходимая для навигации горизонтальной скважины

Одной из наиболее важных задач геонавигатора является передача оператору ННБ сигналов относительно направления движения. Чтобы обеспечить адекватное направление движения,

This article describes in detail the most critical aspects of the communication process between the geosteerer and the directional driller; frequency of the commands, type of information as well as particular circumstances in which the information should be conveyed.

Communication with the Directional Driller

A geosteerer is a person who through real-time data analysis and interpretation owns all the information needed to guide the well within a thin laterally distributed target. Yet it is the directional driller who can physically steer the well towards the right direction. A well-established relationship between a geosteerer and directional driller often determines the final success of the operation.

The time spent to improve the geosteerer – directional driller relationship should be prioritized and included in the overall cost of any geosteering operations. It is recommended that the geosteering team, the geosteerer and directional driller, should spend value-creating time before drilling, dedicated to verifying expectations on both sides and confirming mutual objectives of the geosteering. Understanding the geosteerer's intentions will allow the directional driller to respond more accurately.

It is also paramount to create communication in both directions. Directional drillers possess better comprehension of the BHA capabilities and its reactions to the directional changes when properly exploited. This will benefit the overall steering operation, with manoeuvres being executed effectively and efficiently. Hence, both sides are equally responsible for developing a strong relationship.

The Key Information Needed to Navigate a Horizontal Well

One of the geosteerer's most important tasks is to communicate steering directions to the directional driller. To establish adequate steering direction, the geosteerer needs to establish four key data portions:

1) Position of the bit in the three-dimensional space

One way to display a position of the bit in the three-dimensional subsurface is by using X, Y, Z coordinates (figure 1). If geological targets are defined by X, Y, Z coordinates, a three-dimensional distance between the bit and the geometrical target can be measured. The coordinates, however, do not provide information about the bit position in relation to the actual reservoir location. They also do not specify the actual position of the target in relation to the actual reservoir location.

2) The stratigraphic position of the bit

The stratigraphic position indicates the position of the bit in relation to the reservoir target (e.g. particular

геонавигатору требуются четыре блока данных:

1) Положение долота в трехмерном пространстве

Одним из способов показать положение долота в трехмерном подземном пространстве является использование координат X, Y, Z (рисунок 1). Если геологические цели определены координатами X, Y, Z, трехмерное расстоянием между долотом и геометрической целью можно измерить. Координаты, однако, не дают информации о положении долота относительно фактического положения пласта. Они также не уточняют фактическое положение цели в отношении того же текущего положения пласта.

2) Стратиграфическое положение долота

Стратиграфическое положение означает положение долота относительно целевого продуктивного пласта (напр., конкретного стратиграфического элемента продуктивного пласта – см. также рисунок 2). Оно определяет вертикальное и горизонтальное расстояние (напр., в футах) до цели (при нахождении снаружи) и относительное расстояние до фундамента и кровли цели (при нахождении внутри).
Знание стратиграфического положения долота дает возможность уточнить геометрические границы целевого продуктивного пласта на данном отрезке ствола скважины; а также определить количество свободного пространства над и под долотом, в случае, если потребуется изменить направление бурения (при условии, что известны вертикальные и горизонтальные размеры целевого пласта). Эта задача частично решается измерением абсолютной глубины посредством маркшейдерских замеров, поскольку о положении долота можно судить, беря в учет предполагаемую толщину целевого пласта. Однако, следует также учесть, что толщина цели по горизонтали может значительно варьироваться на протяжении всей траектории ствола скважины.

3) Наклон пласта

Чтобы должным образом корректировать угол наклона траектории и удерживать проходку в пределах целевой зоны, нужно оценить угол наклона пласта (см. рисунок 3). Постоянный расчет наклона пласта усиливает потенциал интерпретации структурных данных и обеспечивает информацией о вариациях стратиграфической толщины пласта в горизонтальном направлении.

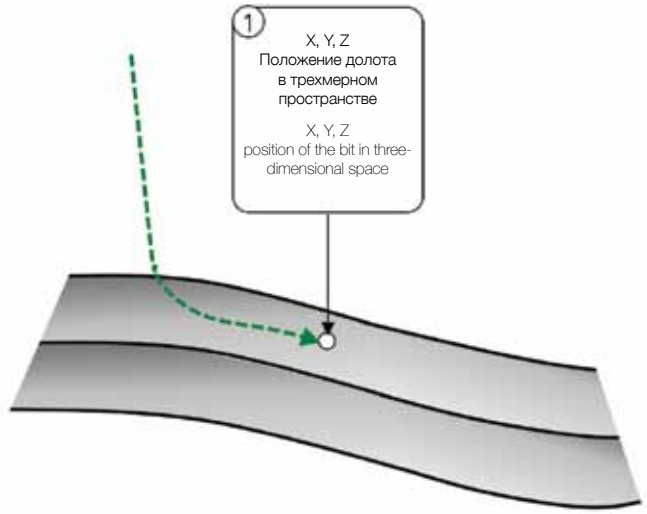


Рис 1: Ключевая информация номер 1, необходимая для навигации горизонтальной скважины – Положение долота в трехмерном пространстве.
Fig 1: First key information needed to navigate a horizontal well - Position of the bit in the three-dimensional space

stratigraphic subunit of the reservoir – see figure 2) It determines the vertical and horizontal distance (e.g. in feet) to the target (if outside the target) and a relative distance to the bottom and top of the target (if in the target.) Knowledge of the bit's stratigraphic position allows specifying the geometrical boundaries of the targeted reservoir at a given position of the borehole; and determines the amount of room above and below the bit in case a change of drilling direction is required (as long as the vertical and lateral dimensions of the targeted reservoir are known.) This is partially resolved by the TVDSS measurement from the survey measurement as the bit position can be concluded from the anticipated thickness

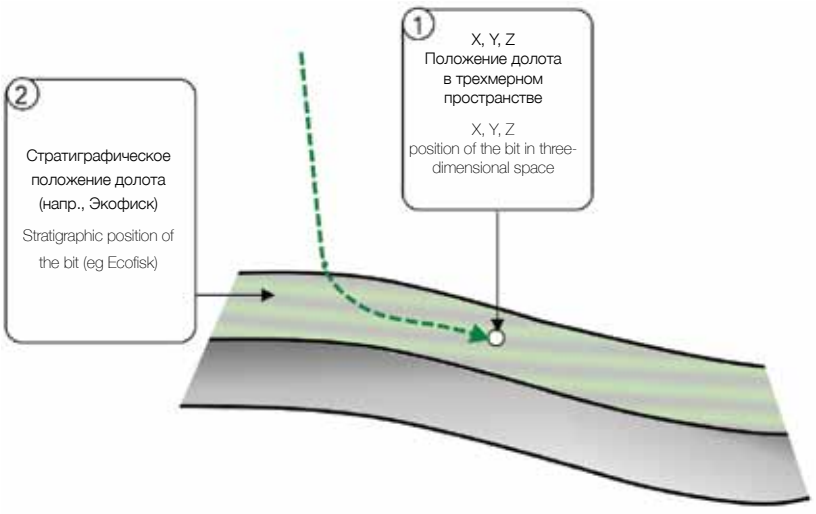


Рис 2: Ключевая информация номер 2, необходимая для навигации горизонтальной скважины – стратиграфическое положение долота
Fig 2: Second key information needed to navigate a horizontal well – The stratigraphic position of the bit

Очень важно различать видимый наклон и истинное падение пласта, поскольку это два разных геометрических свойства целевого пласта. Наиболее точное измерение наклона пласта обеспечивает азимутальный каротаж ствола.

Следует отметить, что в случае если ствол бурится перпендикулярно направлению плоскости наклона пласта, будет невозможно оценить значение его фактического наклона.

Рисунок 3.

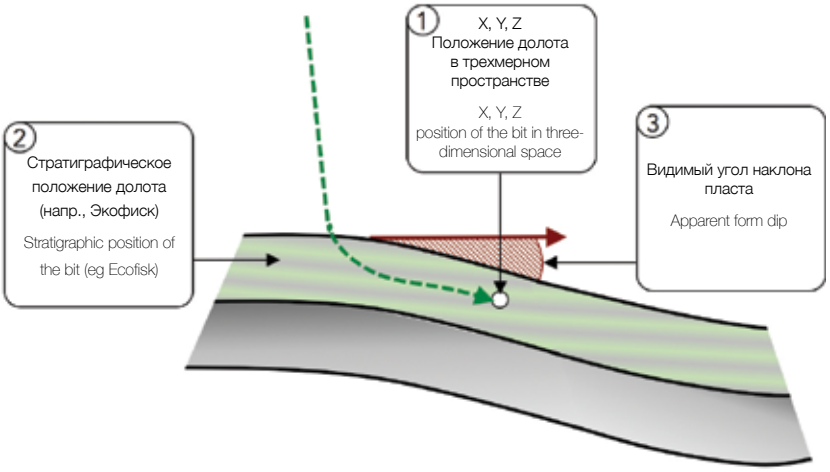


Рис 3: Ключевая информация номер 3, необходимая для навигации горизонтальной скважины – видимый наклон пласта
Fig 3: Third key information needed to navigate a horizontal well – Formation dip

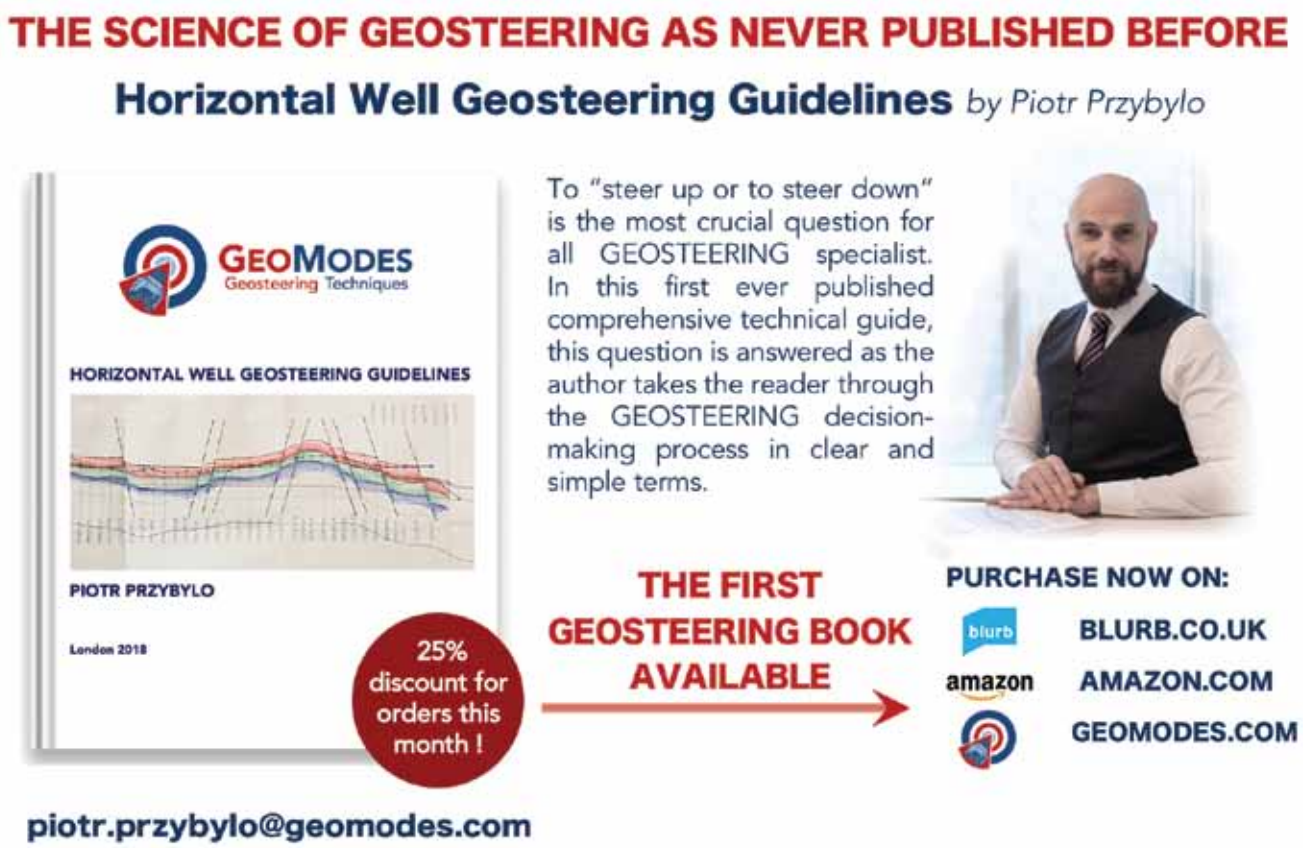
4) Факторы, которые невозможно учесть до начала бурения

Сюда могут относиться разломы, либо любые иные препятствия, которые нельзя предвидеть до начала бурения (см. рисунок 4). Расположение мелких тектонических нарушений, которые сложно определить сейсмически (со сбросом менее 30 футов, что является средним пределом сейсмического обнаружения), обычно невозможно предвидеть. Хотя до начала бурения возможно наличие общего знания зон с преобладанием сейсмически незначительных разломов, такие малые

of the targeted reservoir. It should be taken into account however, that the horizontal thickness of the target may vary significantly along the well path.

3) Formation dip

In order to adjust a trajectory inclination accordingly and maintain a borehole within the target zone, a formation dip



разломы имеют тенденцию развиваться на очень ограниченное расстояние. Обычно, также не хватает и контрольных скважин, чтобы иметь информацию об точном расположении таких разломов. Практически, единственной возможностью здесь является попытка определять их вдоль участка бурения и немедленно реагировать на любой неожиданный выход траектории за пределы нужной целевой зоны.

Другое привычное препятствие, которое невозможно смягчить до начала бурения, это горизонты, насыщенные кремнистым сланцем, которые особенно присутствуют в известняковых пластах. Данная очень твердая порода, состоящая из кремнезема (также известного как кремень) обычно вызывает повреждения КНБК, и значительно препятствует возможностям управления КНБК. В случаях захвата ниже или выше насыщенных кремнием горизонтов, твердая кремневая порода приводит к сильной отдаче на долото или его деформации, что приводит к необходимости периодической перенастройки направления бурения. Хотя практически невозможно прогнозировать горизонты, насыщенные кремнием, вдоль траектории бурения скважины, все же возможно осуществлять разбуривание кремниевых пород, применяя достаточный угол атаки.

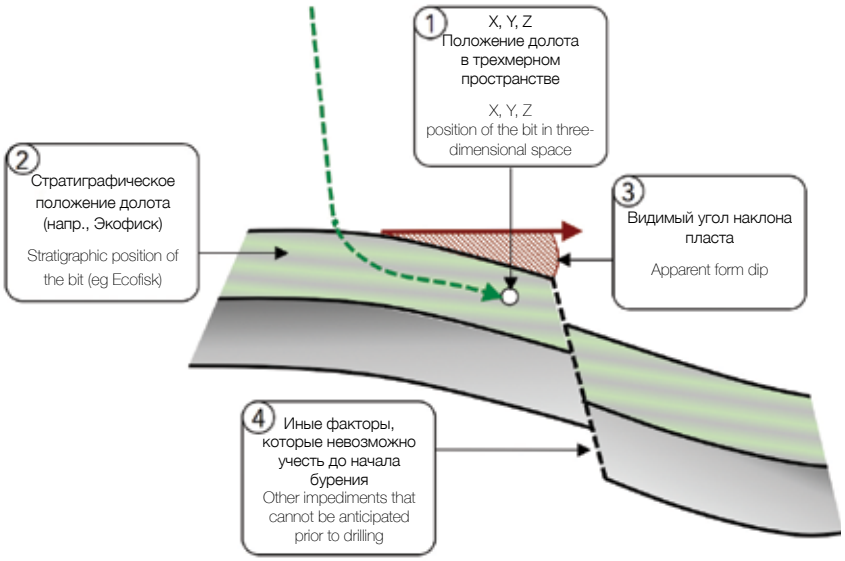


Рис 4: Ключевая информация номер 4, необходимая для навигации горизонтальной скважины – факторы, которые невозможно учесть до начала бурения

Fig 4: Fourth key information needed to navigate a horizontal well – Impediments that cannot be anticipated prior to drilling

Геонавигатор должен исполнять свои обязанности таким образом, чтобы все четыре ключевых блока информации были известны в любой момент операции бурения, на любой точке траектории скважины.

S.M.A.R.T.-коммуникация

Получив данные по всем четырем блокам информации, в любой определенной точке траектории бурения, геонавигатор должен определить наиболее оптимальное направление бурения, и сообщить его оператору наклонно-направленного бурения (ННБ).

Информация о направлении бурения должна соответствовать следующим принципам:

- Она должна быть оформлена ясным и логичным языком, и легко восприниматься, невзирая на любые обстоятельства (напр., состояние стресса);
- Она должна быть передана оператору ННБ независимо от количества времени, доступного для общения (напр., в случае спешки);
- Она должна быть совместима с любым

needs to be estimated (figure 3). Continuous formation dip calculation enhances the structural interpretation and provides lateral differences in the stratigraphic thickness of the reservoir.

It is important to differentiate between apparent and true dip as these two represent different geometrical features of the formation being targeted. The most accurate measurement of the formation dip is provided by the borehole azimuthal images.

It should be noted that in the event the borehole is drilled along the strike of the formation bed, it would not be possible to estimate the actual formation dip value (neither apparent nor true formation dip).

4) Impediments that cannot be anticipated prior to drilling

This may include faults or any other unforeseen prior to drilling obstacles (figure 4). The location of sub-seismic faults (with a throw smaller than 30 feet which is on average seismic detection limit) is usually impossible to foresee. Although general knowledge of the areas with sub- seismic faults prevalence might exist prior to drilling, such small faults tend to propagate to limited distances. Usually, there are also no control wells to provide information about their accurate position. Virtually, the only option is to try to identify them along the drilled section and respond immediately to any sudden trajectory placement outside of the desired target zone.

Another common obstacle impossible to fully mitigate before drilling can be chert rich horizons which are abundant

25 YEARS APS TECHNOLOGY

Global perspective. Independent thinking.

Rugged, Highly Engineered

MWD & LWD Systems for the harshest condition

Houston, TX, USA | Dubai, UAE | Oktyabrsky, Russia | Guanghan, China | Korla, China | Calgary, Canada

GLOBAL HEADQUARTERS

7 Laser Lane Wallingford, CT 06492 USA Tel: +1 860.613.4450 Fax: +1 203.284.7428

www.aps-tech.com

оборудованием связи, доступным геонавигатору и оператору ННБ (напр., общение по телефону, письменное сообщение, мессенджер, очная беседа).

Другими словами, сообщение должно быть живым и умным (по-английски S.M.A.R.T – мнемоническая аббревиатура, использованная Джорджем Дюраном, в 1981 г., т.е. сообщение должно быть Specific (Конкретным), Measurable (измеряемым), Attainable (достижимым), Relevant (адекватным), Time-based (контролируемым по времени):

1) Конкретность (Specific)

Должно присутствовать ясное понимание значения на каротажной диаграмме, и должно предприниматься соответствующее реагирование. Указания по размещению скважины довольно часто даются необдуманно, на основе изначально неверной интерпретации сигналов с каротажных приборов и датчиков. Единственная причина изменения угла наклона скважины это изменение геологической обстановки. Кроме того, все решения по направлению бурения должны учитывать всю имеющуюся в наличии геологическую и техническую информацию, а не только отдельные ее части.

2) Измеряемость (Measurable)

Требуемые изменения траектории скважины должны выражаться в цифрах, определяющих необходимый угол наклона скважины, глубину по вертикали, и глубину по стволу. В дополнение, количественно выраженная поправка должна уточнять значение глубины по вертикали и угла наклона скважины, при данном имеющемся значении глубины по стволу. Использование описательных инструкций здесь исключается.

3) Выполнимость (Attainable)

Запрос к оператору ННБ осуществить невозможный маневр не будет умным. (Здесь игра слов, мнемоника S.M.A.R.T и “smart” (по англ., умный), прим. пер.). У каждой КНБК различные возможности по управлению и ограничения, которые следует учитывать. Данные возможности и ограничения должны быть ясными и общеизвестными. Нет смысла просить осуществить определенный угол набора кривизны на определенном интервале, если КНБК не в состоянии его выполнить.

4) Адекватность (Relevant)

По умолчанию, изменение направления бурения должно происходить, только если возникают очевидные предпосылки к этому, а не просто на

especially in chalky reservoirs. This very hard rock made of silicon oxide (also called flint) often causes damage to BHAs and significantly impedes steering capabilities of any bottom hole assembly. When trapped below/above a chert rich horizon, the hardness of the cherty rock causes the bit to be pushed away or deflected, resulting in a recurrent need for readjustment of the drilling direction. Although it is nearly impossible to predict the cherty horizons along the drilled well, it is still achievable to successfully drill through the cherts with the application of a sufficient angle of attack.

A Geosteerer must perform his/her duties in such a way that all the four key data portions are known at every moment of the drilling operation for every point on the well trajectory.

S.M.A.R.T. Communication

Having acquired the knowledge of all four key information portions at any given point of the drilled trajectory, the geosteerer needs to deduct the most optimal steering direction and communicate it to the directional driller.

The steering direction message must fulfil certain objectives:

- It must be shaped in a clear and logic fashion, easily comprehended despite the circumstances (e.g. under stress);
- It must be passed to directional driller regardless of the amount of time available for communication (e.g. in a rush);
- It must be suitable for any communication equipment used between the geosteerer and directional driller (e.g. phone, text, messenger, face to face chat.)

In other words, the message needs to be agile and S.M.A.R.T. (S.M.A.R.T. acronym as per George T. Duran, 1981; – Specific, Measurable, Attainable, Relevant and Time-based):

1) Specific

There should be a clear understanding of the meaning of the log response and the appropriate course of action to be taken. Premature well placement instructions are too often given because of the initial misinterpretation of tool and sensor’s responses. The only reason to change the inclination of a well path is because of the change in geology. Additionally, all steering decisions should utilize and follow all the available geologic and engineering data, not only selective parts of them.

2) Measurable

Requested changes to the well path should be stated using numbers to define the required well inclination, TVD, and MD. Additionally, a quantitative adjustment should specify the TVD and well inclination needed at a given MD.

KDR
Well Engineering

2019

5th KDR - Well Engineering Forum

12th September 2019

The Palace of Independence, Nur-Sultan

КазМұнайГаз
NATIONAL COMPANY ҰЛТТЫҚ КОМПАНИЯСЫ

Held in conjunction with our General Partner and Platinum Sponsor - JSC NC KazMunayGas

The forum will address important issues including:

• Drilling • Drilling fluids • Wellbore stability • Well completions
• Cementing • Multistage hydraulic fracturing • Work over
• Production • EOR • Occupational health and safety at drilling rigs

Event partners

СОЮЗ СЕРВИСНЫХ КОМПАНИЙ КАЗАХСТАНА
KazService

KAZENERGY

www.kazdr.kz

основании какого-либо предчувствия, что «что-то может пойти не так». Корректировка управления должна быть также адекватной обстоятельствам. Дополнение к углу наклона, которое потребует превышения значения в 3 градуса может быть оправдано лишь в случае аварийно опасной ситуации, когда может случиться выход за пределы целевого продуктивного пласта.

5) Контролируемость по времени (Time-based), а еще точнее, по глубине ствола

Никогда недостаточно запроса информации по глубине по вертикали (ГВ), без предварительного

Using descriptive commands is not an option here.

3) Attainable

Requesting an impossible manoeuvre from the directional driller is not “S.M.A.R.T.”. Each BHA has different steering capabilities and limitations that should be considered. These capabilities and limitations should be clearly communicated and commonly known. There is no point asking for a given dogleg across a certain interval which the BHA is unable to deliver.

4) Relevant

By default, a change of steering direction should occur

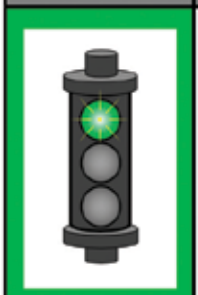
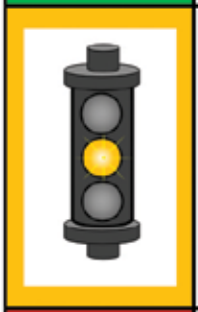
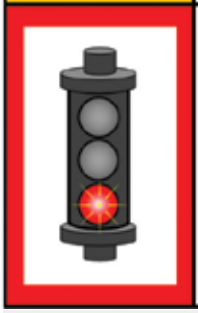
TRAFFIC LIGHT	STEERING CONSIDERATIONS	DOWNLINKING CONSIDERATIONS	DOGLEG CONSIDERATIONS	STEERING RATIO LIMIT*
	This is a normal non-urgent adjustment to the trajectory. Required azimuth changes should be followed equaly as the inclination changes***.	Downlinks can be sent while drilling ahead at normal ROPs. There is no require-ment to reduce the target ROP.	Standard DLS of 3 deg/100 ft is the acceptable upper limit. The target DLS should be no more than 2 ½ deg/100 ft. This is selected to give a cushion from the upper limit. The DLS can be made with a combination of build rate and turn rate. Lower dog legs are desired.	50% is typically used here.
	This is a change to the vertical placement of the well only. The correction is focused on vertical placement. Azimuth corrections can be ignored until this adjustment is completed***.	Downlinks can be sent while drilling however consideration should be given to reducing the ROP in order to ensure the commands are recieved on the current stand.	3 deg/100 ft is the desired DLS upper limit. The target DLS should be no more than 2 ½ deg/100 ft. This is selected to give a cushion from the upper limit. This should be build or drop rate only (no turn rate).	70% is typically used here.
	This is an urgent request to move the well vertically within the shortest distance possibly***. Failure to execute this trajectory change could result in exiting the reservoir.	No footage should be drilled with the tools in their current settings. Downlinks should be made with immediate effect. You should pick up off bottom.	Consultation with the the company representative and geosteerer is required. The maxium DLS will be a function of the proximity of the hazard and the current depth of the well. Typically this will be way over 3 deg/100 ft as remain-ing in the reservoir is more important than DLS limit.**	The directional driller will have freedom to select the most appropriate settings for the tool. Additional downlink might be required. Typically 100% steering ratio is used here.

Fig 5: Traffic Light System with steering ratio, downlinks, doglegs considerations and limits

* Please note: The steering ratio limits advised here are only for guidance only, the DD will adjust these setting based on the response of the BHA and any underlying tendencies. The objective is to limit the severity of the dogleg during these manoeuvres and not to specify a strict steering ratio

**Please note: The exact DLS values for the red manoeuvre will be a result of specific circumstances and conditions for each trajectory adjustment and BHA steering capabilities.

***Please note: In some extreme conditions, three-dimensional well trajectories are designed which require changes of inclination as well as of azimuth while drilling. In such trajectories changes of azimuth will restrict possibilities of inclination build/drop and vice versa. A balance between these parameters should be maintained all the time as they will inter-affect each other. In three-dimensional trajectories, dogleg severity will equal a sum of build rate and turn rate. In three-dimensional drilling, the geosteerer is typically responsible for inclination changes while the directional driller will accommodate the inclination changes as well as the azimuthal adjustments. Especially during the red manoeuvre, the vertical inclination changes take precedence over the azimuthal changes.

ufi Approved Event

1–4 ОКТЯБРЯ 2019
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

RAO/CIS OFFSHORE

ВЫСТАВКА И КОНФЕРЕНЦИЯ

по освоению ресурсов нефти и газа Арктики
и континентального шельфа

СТАНЬ УЧАСТНИКОМ

Организатор:

РЕСТЭК® выставочное объединение

Тел.: +7 812 303 8868
E-mail: rao@restec.ru

WWW.RAO-OFFSHORE.RU

Генеральный спонсор: Газпром

Официальный спонсор: Газпром нефть

Спонсор круглого стола: DNV·GL

Партнер: Газпром флот

уточнения того, на какой глубине по стволу будет находиться требуемая точка ГВ. Это расстояние также позволит определить и требуемый угол наклона (а также интенсивность отклонения), чтобы осуществить маневр. Заметьте, пожалуйста, что одно и то же значение глубины по вертикали, которое требуется получить в пределах двух разных расстояний глубины по стволу, даст в результате два различных значения угла наклона, необходимого для выполнения маневра.

only when an evident prerequisite arises and not based on a premonition that something might occur. The steering adjustment must also be adequate to the circumstances. A drop of inclination that requires exceeding a dogleg limitation of 3 degrees can be only justified in a hazardous situation with the potential of exceeding a targeted reservoir.

5) Time-based (or better MD based)

It is never sufficient to request a change in TVD without specifying in what MD distance the requested TVD should

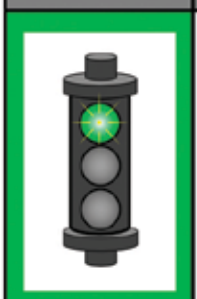
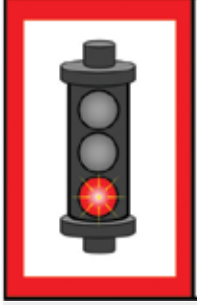
СВЕТОФОР	РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УПРАВЛЕНИЮ	РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СВЯЗИ	РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКЛОНЕНИЯ (ИО)	КОЭФФИЦИЕНТ УПРАВЛЕНИЯ
	Это нормальная, неспешная корректировка траектории. Необходимые изменения по азимуту следует проводить одновременно с изменением вертикального угла наклона	Передачу сигналов можно проводить в процесс бурения при нормальной скорости проходки. Нет необходимости снижать скорость проходки.	Обычная ИО в 3 градуса на 100 футов - приемлемый верхний предел. Целевое значение ИО не должно превышать 2,5 градусов на 100 футов. Это обеспечивает необходимую подушку по верхнему пределу. ИО может складываться из степени набора кривизны и угловой скорости вращения (является их функцией). Желательно добиваться более низких значений ИО.	Здесь обычно используется предел в 50%
	Здесь лишь корректировка вертикального расположения скважины. Корректировка нацелена на вертикальное положение. Поправками по азимуту можно пренебречь, пока данная корректировка не будет закончена***.	Передача сигналов возможна в процессе бурения, однако следует рассмотреть возможное снижение скорости проходки, чтобы обеспечить их своевременный прием.	3 градуса на 100 футов - желательный предел ИО. Целевое значение - не более 2,5 градусов на 100 футов. Значение выбрано, чтобы обеспечить подушку по верхнему пределу. Здесь следует использовать только степень набора или сброса кривизны (без угловой скорости вращения).	Здесь обычно используется предел в 70%
	Здесь срочный сигнал сдвинуть скважину по вертикали в пределах как можно более короткого расстояния***. Невыполнение данного изменения траектории чревато выходом из пласта.	Следует остановить проходку в данном положении оборудования. Необходима срочная передача и прием сигналов на оборудование. Следует выйти из забоя.	Необходимы срочные консультации с представителями компании и геонавигатором. Максимальный угол будет рассчитан по степени предрасположенности к аварии и текущей глубине скважины. Обычно принимается угол намного выше 3 градусов на 100 футов, поскольку нахождение в пласте предпочтительней соблюдения предельного значения ИО.	Бурильщик волен выбирать наиболее приемлемые параметры работы оборудования. Возможно, потребуется более интенсивная передача сигналов. Обычно коэффициент управления здесь 100%.

Рис 5: Система «Светофор» с параметрами (сигналами) коэффициента управления, нисходящей связи (передачи сигналов на оборудование), рекомендациями по углу набора кривизны, и его пределам

* Заметьте, пожалуйста: Ограничения по коэффициенту управления ННБ здесь носят рекомендательный характер. Оператор ННБ должен корректировать эти значения, исходя из реакции КНБК, и иных предопределяющих ее процессов. Цель здесь – ограничить интенсивность угла отклонения во время этих маневров, поэтому точное значение ИО здесь не определяется.

**Заметьте, пожалуйста: Конкретные значения ИО для маневров под красным сигналом будут результатом конкретных обстоятельств и условий для каждой корректировки траектории, а также степени управляемости КНБК.

***Заметьте, пожалуйста: В некоторых чрезвычайных обстоятельствах, проекция траектории скважины осуществляется в трехмерном пространстве, что требует изменения угла наклона, а также азимута в процессе бурения. В таких траекториях изменения по азимуту будут ограничивать возможности наращивания/понижения угла наклона, и наоборот. Следует постоянно сохранять баланс между этими параметрами, т.к. они взаимно влияют друг на друга. В трехмерных траекториях интенсивность отклонения (ИО) будет равна сумме степени набора кривизны и угловой скорости вращения. В трехмерном бурении геонавигатор обычно отвечает за корректировку угла наклона, в то время как оператор ННБ подстраивает эти значения в соответствии с корректировками по азимуту. Особенно для случаев маневров под красным сигналом изменения угла наклона имеют приоритет над корректировками по азимуту.

Society of Petroleum Engineers

Host Organisation: SOCAR

SPE Annual Caspian Technical Conference

Digital Transformation: Enabling the Future

16-18 October 2019

Fairmont Baku, Flame Towers
Baku, Azerbaijan

go.spe.org/2019caspian

6th Annual Event

Register Today

Bringing together the largest gathering of local, regional, and international oil and gas professionals to explore the key issues faced by the Caspian region.

In Participation with: AAPG Advancing the World of Petroleum Geosciences, ANGC, EAGE European Association of Geoscientists & Engineers, SEG Society of Exploration Geophysicists

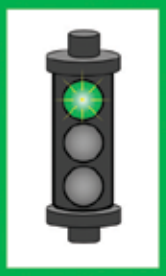
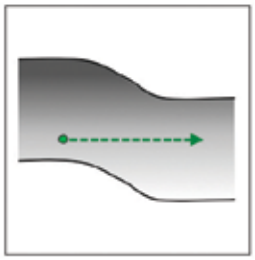
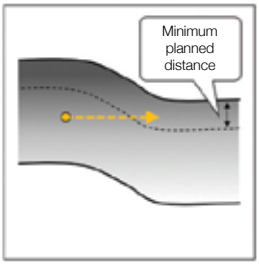
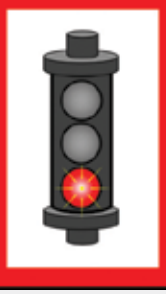
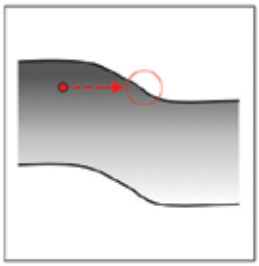
TRAFFIC LIGHT	GEOSTEERING OBJECTIVE	INITIAL ACTION	GRAPHIC	DOGLEG CONSIDERATION
	Geosteerer is chasing the most optimal reservoir parameters.	Drilling ahead without any ROP limits e.g. 150 ft/hr. Downlinks sent while on botttom.		Steering towards the target after sending the downlinks. Doglegs between 1-2 deg/100 ft
	The program specifies a minimum distance to the top of the reservoir target (e.g. 10 ft TVD). While the well is being drilled, the distance to bed has dropped (e.g. below 10 ft TVD) and requires an immediate correction in order to remain within the targeted reservoir.	Drilling ahead with reduced ROP e.g. to 75 ft/hr. Downlinks sent as soon as possible while drilling.		3 deg/100 ft is the desired upper limit of the DLS.
	Approaching quickly top of the reservoir or thrown up by a fault. The distance to the top of the reservoir is below planned 10 ft TVD, decreasing fast or the well drilled out of the reservoir. An immediate action is critical for saving the well.	Stop drilling and pick up off bottom. Agree with company representative and directional driller on forward plan for steering. Downlinks sent accordingly.		Consult with the the company representative and directional driller. The maxium DLS will be a function of the proximity of the hazard and the current depth of the well. Typically this will be way over 3 deg/100 ft.

Fig 6: Descriptions and examples of how the Traffic Light System should be used for communication while drilling

Система связи «Светофор»

Одним из наиболее живых и подвижных методов коммуникации между геонавигатором и оператором ННБ является система «Светофор». Эта система – эффективный и действенный метод быстрой коммуникации, исключающей ненужные недоразумения.

Геонавигатор, определяя цвет маневра (зеленый, желтый или красный), и сообщая его оператору ННБ, устанавливает уровень срочности действия, и определяет способ, которым данная корректировка будет исполнена. Это, разумеется, будет зависеть от ситуации и обстоятельств. Определенный уровень критичности позволяет оператору ННБ немедленно оценить необходимую скорость маневра, какой коэффициент управления должен быть выбран в приложении к инструменту, и какие значения интенсивности отклонения и скорости проходки потребуются для данной корректировки. Система «Светофор» не только позволяет передавать сообщения, но и «описывает» окружающую обстановку вокруг КНБК, с которой приходится иметь

be achieved. This distance will also determine the required inclination (and the DLS) to perform the manoeuvre. Please note that the same TVD value requested to be achieved within two different MD distances will result in two different inclination values required for the manoeuvre.

Traffic Light Communication System

One of the most agile communication methods used between the geosteerer and the directional driller is called the Traffic Light System. The system is an effective and efficient way to communicate quickly and without unnecessary misunderstandings.

The geosteerer by defining the colour of the manoeuvre (green, yellow or red) and communicating it the directional driller sets the urgency and establishes a fashion in which the adjustment will be performed. This obviously will depend on the situation and circumstances. Identified criticality will allow the directional driller to immediately estimate how fast the manoeuvre needs to be performed, what steering ratio he/she should apply to the tool and what values of DLS and ROPs are required for a given adjustment. The Traffic Light System not only allows

Society of Petroleum Engineers

Host Organisation

КазМунайГаз
NATIONAL COMPANY ҰЛТТЫҚ КОМПАНИЯСЫ

SPE Symposium: Caspian Health, Safety, Security, Environment and Social Responsibility

24-25 September 2019 | Nur-Sultan, Kazakhstan

go.spe.org/caspianHSE

Save the Date!

Gathering local, regional and global experts and practitioners from the upstream, midstream and downstream sectors to share best practice, progressive approaches and innovative applications to enhance HSE performance.

- Expand your professional network through excellent networking opportunities
- Hear insights from influential industry leaders
- Experience the latest technologies, products and solutions

Visit the website for more information – **go.spe.org/caspianHSE**

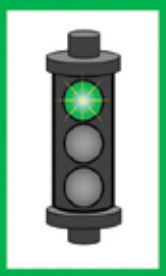
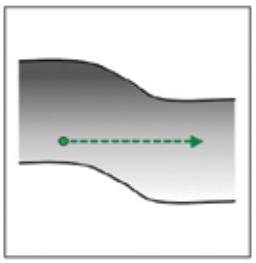
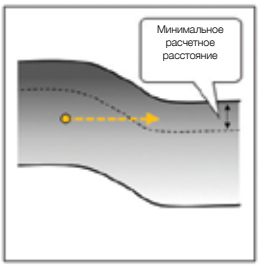
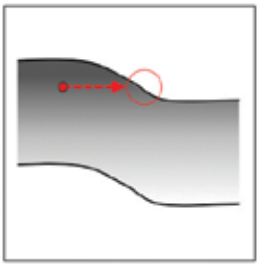
СВЕТОФОР	ЦЕЛИ ГЕОНАВИГАЦИИ	ПЕРВИЧНЫЕ ДЕЙСТВИЯ	ГРАФИКА	РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УГЛУ НАБОРА КРИВИЗНЫ
	Оператор направленного бурения рассчитывает на оптимальные параметры пласта.	Бурение без ограничений по скорости проходки, т.е. 150 футов в час. Передача нисходящих сигналов производится, когда достигнут забой.		Навигация к цели после отсылки нисходящего сигнала на оборудование. Угол набора кривизны 1-2 градуса на 100 футов.
	Программа уточняет минимальное расстояние до кровли пласта (напр, 10 футов фактической глубины по вертикали). По мере бурения скважины, расстояние до пласта падает (т.е. менее 10 футов фактической глубины по вертикали) и требует незамедлительной поправки, чтобы оставаться внутри целевого пласта.	Бурение с ограничением по скорости проходки, т.е. до 75 футов в час. Нисходящие сигналы передаются в процессе бурения как можно чаще, насколько это возможно.		
	Быстрое приближение к кровле пласта или сброс из-за разлома. Расстояние до кровли пласта ниже запланированных 10 футов фактической глубины по вертикали, быстро уменьшается либо проходка вышла за пределы пласта. Требуется немедленное реагирование для спасения скважины.	Остановить бурение и поднять колонну с забоя. Согласовать план дальнейшей навигации с представителем компании и оператором направленного бурения. Соответственно этому осуществляется нисходящая передача сигналов.		Проконсультируйтесь с представителем компании и оператором направленного бурения. Максимальный угол набора кривизны будет складываться из предрасположенности к аварии и текущей глубины скважины. Как правило, это бывает более 3 градусов на 100 футов.

Рис 6: Описания и примеры того, как система «Светофор» используется для коммуникации в процессе бурения

дело. Более подробную информацию можно найти на рисунках 5 и 6.

Система связи «Светофор» включает в себя:

- **Green command**

Нормальный, неспешный маневр внутри целевого пласта. Типичное значение интенсивности отклонения (ИО) варьируется от 2 до 2,5 градусов на 100 футов (либо используются иные значения ИО, обговоренные до бурения), скорость проходки не ограничивается, сигналы на оборудование посылаются в процессе бурения и коэффициент управления ННБ устанавливается в пределах 50%. Азимут и угол наклона можно корректировать одновременно.

- **Желтый сигнал**

Требуется срочный маневр и значительное изменение направления бурения, когда траектория скважины либо приближается, либо уже достигла кровли пласта. Типичное значение ИО все еще в пределах

the message to be conveyed, but also “describes” the surroundings the BHA will have to deal with. Please see figures 5 and 6 for more details.

The Traffic Light Communication System includes:

- **Green command**

A normal, non-urgent manoeuvre within the targeted reservoir. Typical DLS ranges up to 2 - 2 ½ degrees per 100 feet (or any other DLS agreed pre-drill), the ROP is non-restricted, downlinks are sent while drilling and the steering ratio is set at around 50%. Azimuth and inclination can be adjusted simultaneously.

- **Yellow command**

Serious urgent manoeuvre when a well is approaching or has already reached the top or the bottom of the reservoir and a significant change of steering direction is required. Typical DLS still ranges up to 3 degrees per 100 feet, the ROP is restricted to allow downlinks to be received before a substantial distance is drilled. The steering ratio has

KEW 2019
KAZAKHSTAN ENERGY WEEK

XII
KAZENERGY EURASIAN FORUM
NUR-SULTAN

KAZAKHSTAN ENERGY WEEK

XII KAZENERGY EURASIAN FORUM

KAZENERGYFORUM.COM

23-29 September 2019

Nur-Sultan, Kazakhstan

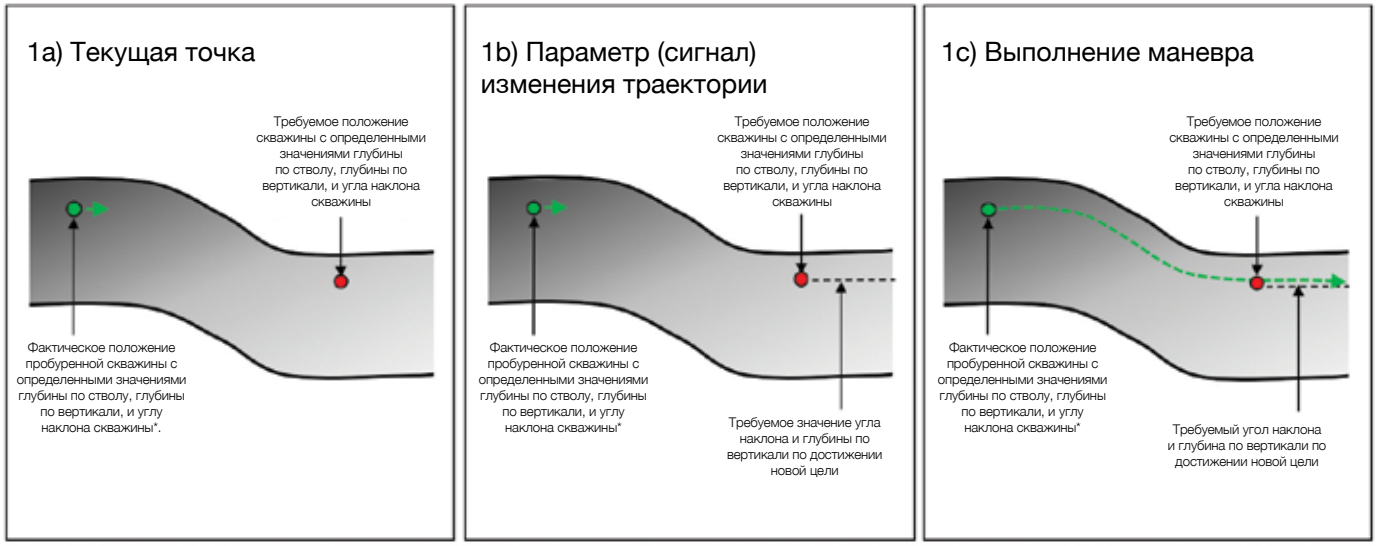


Рис 7: Один из методов смены целей навигации (подробнее также см. Рис.9)

а) Геонавигатор определяет новую цель навигации.

б) Геонавигатору необходимо сообщить оператору направленного бурения требуемый зенитный угол целевого объекта и фактическую глубину по вертикали на текущей глубине по стволу. Это будут фактическая глубина по стволу и зенитный угол (угол наклона), по которым скважина будет буриться, после того, как будет достигнут новый объект). Угол наклона нового объекта не уточняется, и оставляется на усмотрение бурильщика. Корректировка данной траектории управляется только одним параметром (сигналом светофора).

в) Оператор бурения направляет инструмент к целевому объекту в пределах обозначенных ограничений по интенсивности отклонения, и наиболее оптимально использует возможности управления движением КНБК. Пока данный маневр выполняется, геонавигатор может сосредоточиться на анализе данных. Пожалуйста, не забывайте о том, что по достижении нового объекта (цели) скважина будет буриться уже с новым углом наклона, который будет определен геонавигатором.

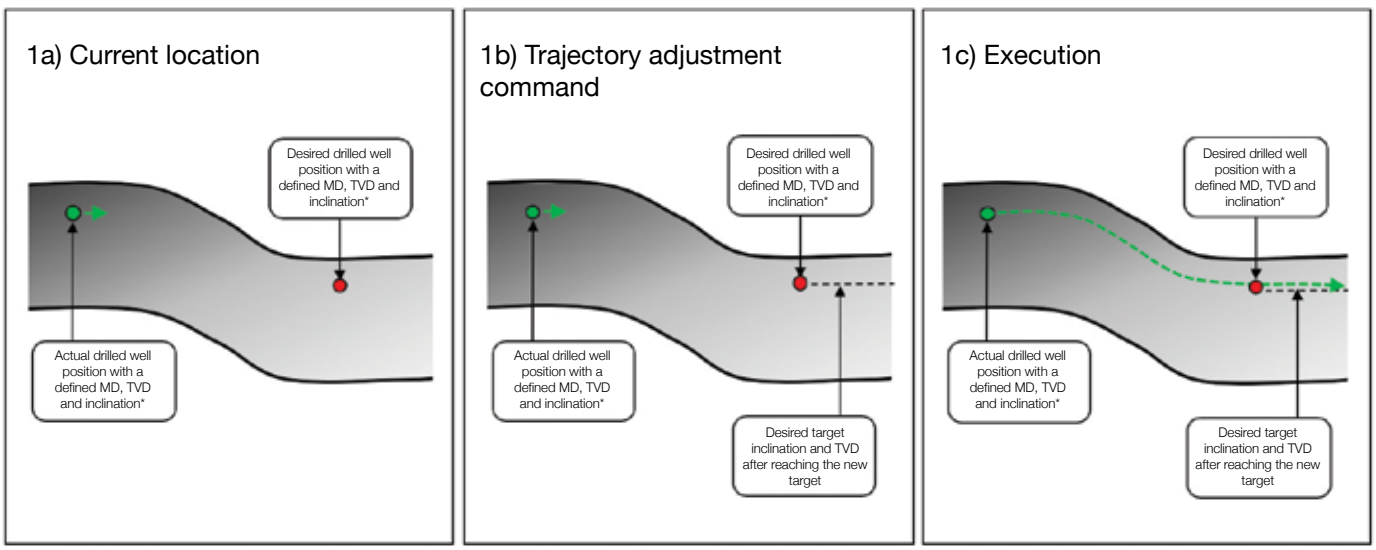


Fig 7: One of the target changing methods (see also figure 9 for further explanation)

a) The new target ahead is defined by the geosteerer.

b) The geosteerer needs to communicate to the directional driller a desired target inclination and TVD at the given MD. This will be the TVD and inclination with which the well will be drilled after reaching the new target.) The new target inclination is not specified and left to the directional driller's discretion. This trajectory adjustment requires only one command.

c) The directional driller steers to the target within the specified dogleg limitations and using the BHA steering capabilities most optimally. While the manoeuvre is being performed, the geosteerer can focus on data analysis. Please note that after reaching the new target the well is drilled ahead with the new target inclination specified by the geosteerer.

до 3 градусов на 100 футов, скорость проходки ограничивается, чтобы не позволить сигналам запаздывать к процессу бурения. Коэффициент

increased to approximately 70%. Vertical adjustment takes precedence over the azimuthal changes.

управления ННБ увеличивается до 70%. Корректировки по вертикали выполняются прежде чем вносятся изменения по азимуту.

- **Красный сигнал**

Маневр в условиях аварийной ситуации - если его не выполнить правильно, возможна потеря скважины. Ситуация красного сигнала может возникнуть когда, например, траектория бурения вышла за пределы продуктивного пласта в перекрывающие породы. Точные значения ИО для маневра по красному сигналу определяются конкретными обстоятельствами, и условиями для каждой корректировки траектории и управляемостью КНБК. Обычно, они могут достигать значений намного выше 3 градусов на 100 футов. Бурение следует остановить, и посылать сигналы на оборудование в условиях остановленной проходки. Необходимы консультации и согласования между всеми сторонами. Обычно, в таких ситуациях, бурильщик ННБ использует 100%-ный коэффициент управления оборудованием ННБ.

Методы смены целей

После того, как конкретный уровень срочности маневра определен, и передан оператору ННБ, также важно передать оператору новую цель для нового направления бурения.

Это достигается двумя способами:

1) Уточнением угла наклона и глубины по вертикали, на определенном расстоянии глубины по стволу, в пределах которого нужно достичь требуемой глубины по вертикали

Здесь геонавигатор принимает решение по новой цели, лежащей впереди (с координатами XYZ) и углу наклона скважины в точке новой цели (точнее – по углу наклона, который будет у скважины в точке новой цели). Геонавигатор не уточняет значение угла наклона, которое понадобится бурильщику ННБ, чтобы достичь новой цели, оставляя решение, как выполнять этот маневр, за ним самим. Заметьте, пожалуйста, что в данной ситуации оператор ННБ свободен осуществлять корректировку угла наклона и коэффициента управления ННБ по своему усмотрению.

2) Уточнением угла наклона новой цели

Здесь геонавигатор производит расчет и решает сам, какой угол наклона потребуется, чтобы выполнить задачу бурения скважины на «х» футов глубины

- **Red command**

Critical emergency manoeuvre which if not executed properly may result in losing the well. The red command situation may arise when e.g. a well has drilled out of the reservoir into the overburden. The exact DLS values for the red manoeuvre will be a result of specific circumstances and conditions for each trajectory adjustment and BHA steering capabilities. Usually, they can reach way above 3 degrees per 100 feet. The drilling should be ceased, and the downlinks should be sent without any additional footage drilled. Consultation and agreement between all parties are required. Usually, in such circumstances, the directional driller will use full 100% steering ratio tool capabilities.

Target Changing Methods

Once a specific urgency of the manoeuvre has been established and communicated to the directional driller, it is important to also convey a new target for the new steering direction.

This can be obtained in two ways:

1) By specifying inclination and TVD at the MD distance within which the required TVD should be achieved

Here the geosteerer decides on the new target ahead (with XYZ coordinates) and the inclination of the well at the new target (more specifically - inclination from the new target onwards). The geosteerer does not specify the inclination which the directional driller needs to use to reach the new target and leaves in his/her hands the decision of how to perform the manoeuvre. Please note that in this situation the directional driller has the freedom to perform the adjustment with the inclination and steering ratio of his choice.

2) By specifying a new target inclination

Here the geosteerer calculates and decides on his/her own what inclination will be required for achieving an objective of moving the well by x feet TVD and within x feet MD distance. The directional driller executes the manoeuvre by setting the required build or drop rate of the tool. Please note that in this situation the directional driller is not aware of the new target nor of the inclination required at the new target (the XYZ coordinates of the new target and the inclination at the new target are not specified.)

Typically, through the usage of this type of target changing method (with changing the inclination only and not specifying the actual new target ahead), the well will continue traversing through the stratigraphy indefinitely (inclination lower /higher than formation dip.) It is common to mistakenly assume that this way the more optimal zone

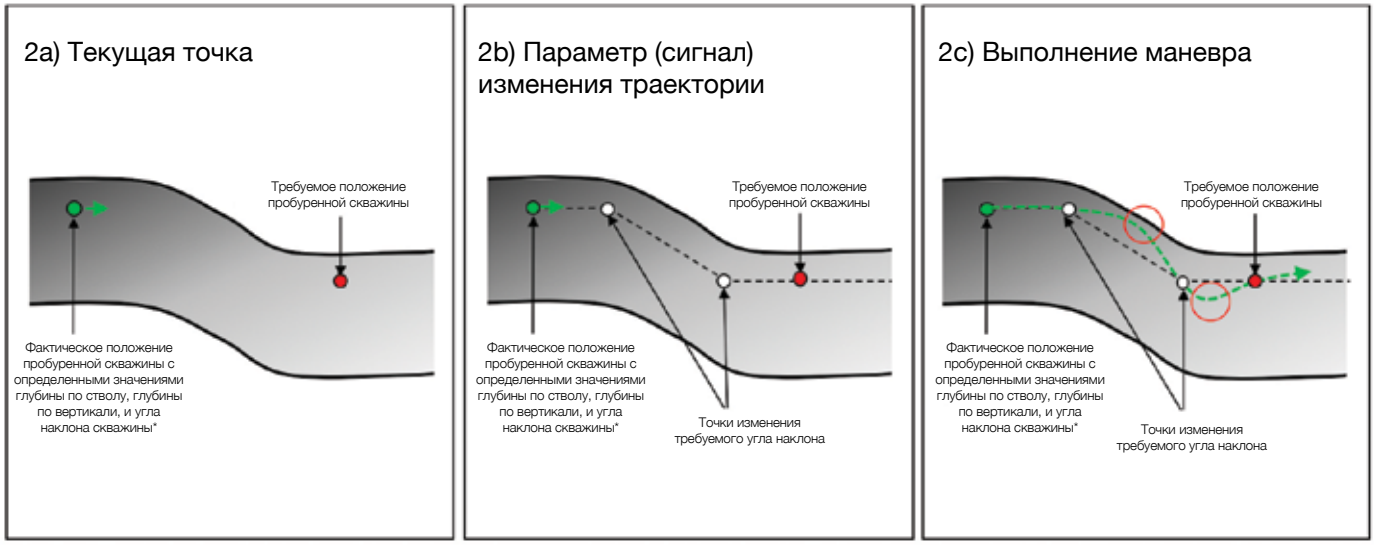


Рис 8: Один из методов смены целей навигации (подробнее также см. Рис. 10)
а) Геонавигатор определяет новый угол наклона цели, лежащей впереди.
б) Геонавигатор сообщает требуемые значения угла наклона и на основании данных анализа, проводимого в процессе бурения, сам производит необходимые поправки траектории. Требуемые значения глубины по вертикали и глубины по стволу (новой цели) не определены еще ни в какой точке. Данное изменение траектории требует как минимум двух параметров (сигналов светофора) (а зачастую, и больше).
в) Оператор ННБ делает поправки угла наклона (и требуемого значения ИО) в каждой точке, где должен меняться угол наклона, и дополнительно корректирует выбранное значение, если величина интенсивности отклонения оказывается выше допустимых пределов.

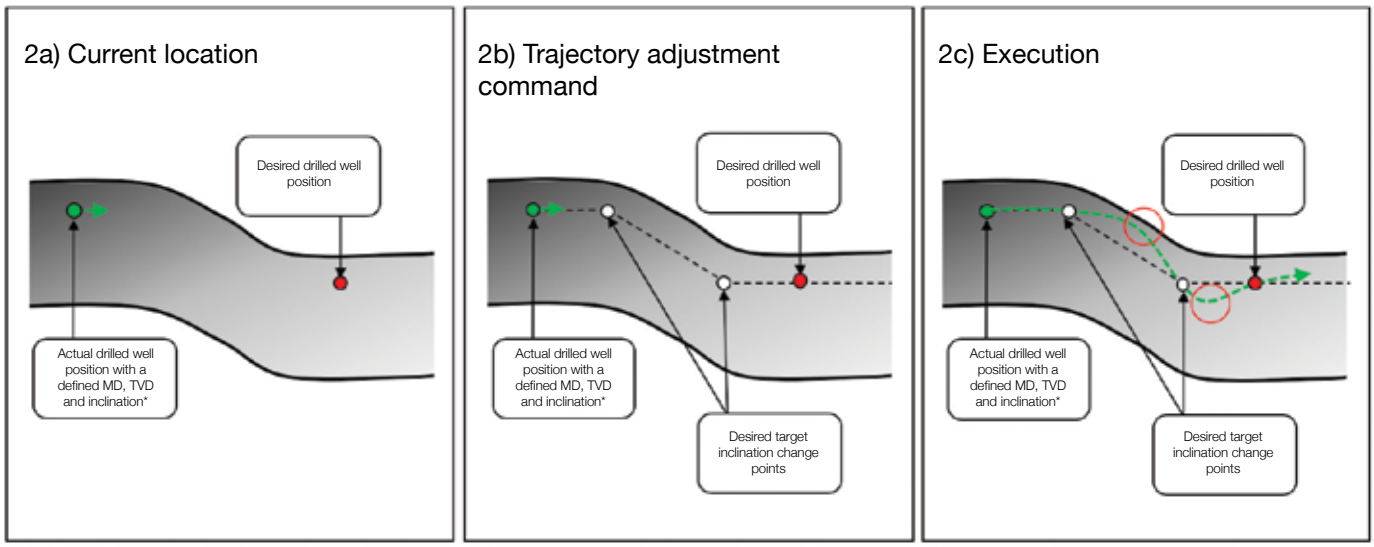


Fig 8: One of the target changing methods (see also figure 10 for further explanation)
a) New inclination ahead is defined by the geosteerer.
b) The geosteerer communicates the desired target inclination and based on data analysis along the drilled hole conducts the trajectory adjustments on his/her own. Desired TVD or MD (the new target) is not specified at any point. This trajectory adjustment requires a minimum of two commands (and usually more).
c) The directional driller will adjust inclination (and the DLS required) at every inclination change point and will challenge the request if the dog leg value is in excess of the agreed limits.

по вертикали и в пределах «х» футов расстояния глубины по стволу. Оператор ННБ выполняет маневр, устанавливая требуемый темп набора или сброса кривизны. Заметьте, пожалуйста, что в данной ситуации оператор ННБ не знает ни о новой цели, ни о требуемой величине углу наклона, необходимого на новой цели (координаты XYZ новой цели и угол

will be searched and found. This flawed belief is very risky and should not be accepted.

Usually, the type two manoeuvre produces much steeper inclinations (see red circles) as well as higher DLS. The trajectory shape also has more sinusoidal shape. The inclination at the new target is also not specified (more

наклона на новой цели еще не определены). Обычно, посредством данного вида смены целей (изменяя угол наклона только, без уточнения фактической новой цели, лежащей впереди), траектория скважины будет идти стратиграфически неопределенно (угол наклона ниже/выше угла наклона пласта). Зачастую, ошибочно допускается, что данным способом можно отыскать наиболее оптимальную зону. Это сомнительное утверждение довольно рискованно, и не должно приниматься на веру.

Обычно, маневр второго типа достигает более крутого угла наклона (отмечены красными кругами на рисунке), а также более высокого значение ИО. Форма данной траектории более похожа на синусоиду. Угол наклона в точке новой цели также не определен (точнее говоря, угол наклона, который будет у скважины после достижения новой цели). Оператор ННБ также не знает о цели геонавигатора, и поэтому не может соответственно корректировать коэффициент управления ННБ, и определять точку начала набора/сброса кривизны.

Это не оптимальный вариант. По возможности, следует определить для новой цели глубину по вертикали, и угол наклона на данной глубине по стволу (см. также рисунок 10 с более подробной информацией).

Вышеупомянутые примеры представляют собой наиболее уместные способы смены целей в геонавигации. Зачастую непросто объяснить разницу между фактическими результатами применения одного метода, либо другого, и это остается на усмотрение широкой публики (а еще чаще, для суждения в среде самих геонавигаторов).

Их можно классифицировать и систематизировать следующим образом:

1) Векторный метод (также именуемый «бурением по линии»)

Данный метод предполагает, что цель находится на линии с данным углом падения. Метод векторного прицеливания создает плавные переходы между целями и предоставляет достаточную свободу оператору ННБ устанавливать цель (на линии). В случае, если геологическое окружение вынуждает выбрать другую цель, оператору ННБ предоставляется новая линия на цель – определенный угол наклона с определенными допусками по горизонту – и, он устанавливает новую цель.

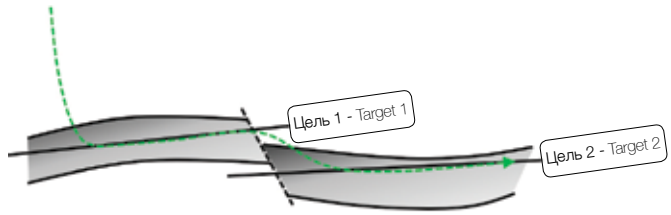


Рис 9: Векторный метод геонавигации обеспечивает максимальное воздействие на пласт, предотвращает ненужные отклонения в движении, делая траекторию более плавной

Fig 9: Geosteering by the vector targeting method provides maximum reservoir exposure and prevents unnecessary directional changes creating smoother trajectories

specifically - inclination from the new target onwards.) The directional driller is also unaware of the geosteerer's objective and therefore she/he is unable to adjust the steering ratio accordingly or the most optimal point of drop/build commencement.

This is not the preferred case. Whenever possible, a target TVD and inclination at a given MD should be specified (see also figure 10 for further explanation.)

The above mentioned examples are the most common ways of target changing while geosteering. Often the actual consequences of using one method over the other one are not easily explained and expounded to the general public (and especially to the geosteering teams.)

They can be summarised and systematized as follows:

1) Vector targeting method (also called "drilling on a line")

This method assumes that a target is a line with a given dip. The vector targeting method creates smooth transitions between the targets and gives sufficient flexibility to the directional driller to land on a target (on a

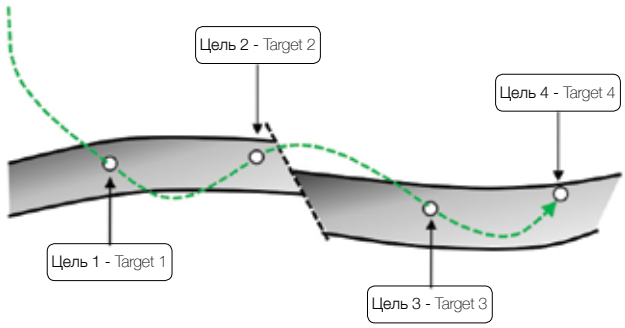


Рис 10: Геонавигация точечным методом, при котором траектория достигает целевой объект через пересечение всех обозначенных целевых точек, но при этом ухудшается степень воздействия на пласт

Fig 10: Geosteering by point in space method where trajectory fulfilled the objective of intersecting all the indicated targets but has a compromised reservoir target exposure

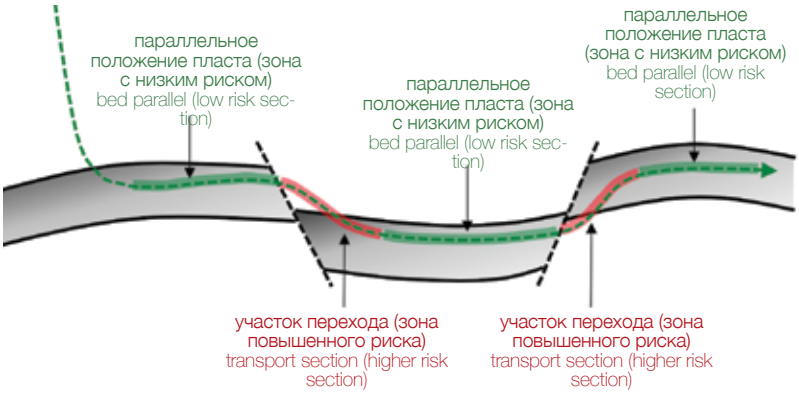


Рис 11: Начальное положение ствола параллельно наклону целевого пласта. Любое иное положение (иные углы наклона ствола скважины) рассматриваются как зоны повышенного риска, которых, по возможности, следует избегать, или сокращать до минимума. Зеленые интервалы обозначают параллельное положение пласта относительно ствола скважины. Красные интервалы относятся к переходам через стратиграфические зоны

Fig 11: The primary position of the wellbore is parallel to the dip of the targeted formation bed. Any other position (any other well path inclination) is considered a higher risk position and should be avoided if possible or reduced to a necessary minimum. The green intervals mark the bed parallel position of the well path. The red intervals indicate traversing through the stratigraphy

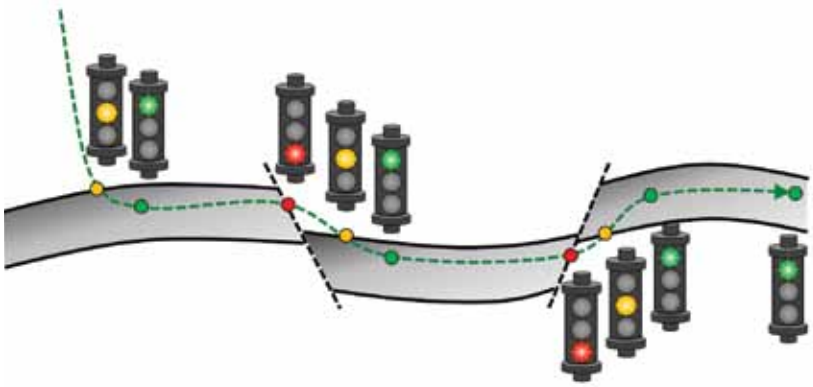


Рис 12: Система связи «Светофор» в приложении к примерной траектории. Заметьте, пожалуйста, что зеленые сигналы светофора используются только на интервалах параллельных пласту (зоны низкого риска), тогда как желтые и красные сигналы светофора используются для интервалов повышенного риска и предрасположенности к аварийной обстановке

Fig 12: Traffic Light Communication System applied to the exemplary trajectory. Please note that the green commands are used only throughout the bed parallel intervals (low risk sections) whereas yellow and red commands are applied for higher risk and emergency intervals

2) Точечный метод (также именуемый «бурением по точкам»).

Точечный метод навигации горизонтальных скважин основывается на выборе геонавигатором угла наклона новой цели, под которым скважина будет буриться. Геонавигатор полагается только на собственные навыки расчета угла наклона, необходимого для пересечения целевой точки глубины по вертикали в определенной точке горизонтального отрезка (на определенной глубине

line). In the event the geological surroundings push for a target change, a new target line - a certain inclination with certain horizontal tolerances - is given to the directional driller so a well can be landed on a new target.

2) The point in space method (also called “drilling on a point”).

The point in space method for steering horizontal wells relies on a geosteerer deciding on the new target inclination that a well path will be drilled. The geosteerer relies only on her/his skills of calculating the inclination required to intersect a TVD target at a certain point of a horizontal section (at certain MD of the well). Although this method often allows intersecting all the indicated new targets, at the same time it provides very little control over the inclination of the wellbore between the target points since the directional driller is not involved in the selecting inclination values process. This approach regularly creates “over-shooting” of the targets with necessary corrections of the well path immediately after reaching the target. Consequently, this reduces flexibility for directional drillers and generates more work for the entire geosteering team. The method also usually involves a higher number of commands. In some cases, the undulating shape of a trajectory can cause losing the well. The figure below represents a trajectory that intersected all the required targets but still exhibits compromised reservoir exposure. Note that all the targets can also be intersected with a much smoother trajectory.

Conclusions and Recommendations

The geosteerer must endeavour to select the safest position of the wellbore at all times, a position which allows the fastest reaction to the change in geology and the shortest wellbore path that refrains from misplacement of the trajectory outside of the targeted reservoir.

The primary position of the wellbore is parallel to the dip of the targeted formation bed. Any other position (any other wellbore path inclination) is considered a higher risk position and should be avoided if possible or reduced to a necessary minimum (figure 11). The higher risk position is also called a transport section of the well path.

Bearing in mind the low and high risk sections (marked on figure 11 by green and red intervals), it is recommended to use green commands during the bed parallel sections and

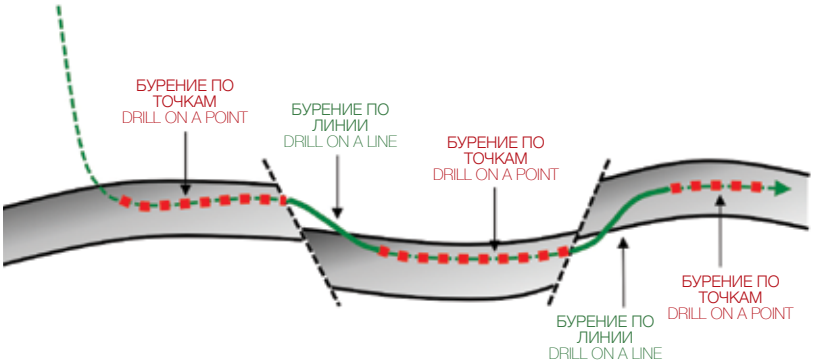


Рис 13: Методы смены целей, в приложении к примерной траектории. Заметьте, пожалуйста, что бурение по точкам (точечный метод навигации) приемлем в интервалах параллельного положения пласта (зоны пониженного риска), тогда как бурение по линии (векторный метод навигации) настоятельно рекомендуется к применению в зонах повышенного риска и предрасположенности к аварийным ситуациям

Fig 13: Target changing methods applied to the exemplary trajectory. Please note that the drill on a point method (point in space method) is acceptable only along the bed parallel interval (low risk sections) whereas drill on a line (vector targeting method) is highly advisable for higher risk and emergency intervals

while traversing through the stratigraphy or outside of the targeted reservoir – yellow and red commands.

Similarly, it is recommended to use the drill on a point method (point in space method) only within the low risk sections (see green intervals in the figure 11). The drill on a point method is acceptable here as the well is being drilling parallel to the dip of the targeted formation bed and the trajectory requires only minimal adjustments of the inclination. As soon as the well starts traversing through the stratigraphy, reaches hazardous position in relation to the reservoir boundaries or exits the targeted reservoir, the drill on a line method (vector targeting method) should be applied.

скважины по стволу). Хотя данный метод обычно позволяет пересекать все обозначенные новые цели, в то же самое время, он предоставляет минимальный контроль над выбором угла наклона ствола скважины между целевыми точками, поскольку оператор ННБ не участвует в процессе выбора значений угла наклона. Данный подход постоянно создает ситуации «мимо цели», когда требуется немедленная корректировка траектории скважины после того, как цель пройдена.

Соответственно, это ограничивает подвижность оператора ННБ в работе, и создает больший объем работы для всей команды геонавигации. Данный метод также характерен большим числом сигналов. В некоторых случаях, волнообразная форма траектории может приводить к потере скважины.

Рисунок ниже представляет траекторию, которая пересекла все необходимые цели, однако показывает довольно испорченную картину воздействия на пласт. Заметьте, пожалуйста, что все цели можно было пересечь намного более плавной траекторией.

Выводы и рекомендации

Геонавигатор должен всегда стремиться выбирать наиболее безопасное положение для скважины, положение, способствующее более быстрой реакции на изменяющуюся геологию, и наиболее короткую траекторию скважины, не допускающую выхода траектории скважины за пределы целевого продуктивного пласта.

Первичное положение ствола скважины параллельно углу падения целевого пласта. Любая другая позиция (любой другой угол наклона скважины) рассматривается в качестве более рискованной, которой по возможности следует избегать, либо сводить к необходимому минимуму (рисунок 11). Позиция повышенного риска также называется транспортной секцией траектории скважины.

Принимая во внимание отрезки с низкими и высокими рисками (отмеченными на рисунке 11 зелеными и красным интервалами), рекомендуется проводить маневры с зеленым сигналом при прохождении отрезков параллельных пласту, а под желтым и красными сигналами «Светофора» осуществлять маневры при переходе через стратиграфические зоны, и при выходе за пределы пласта.

Равным образом, рекомендуется пользоваться точечным методом (метод точечного пространства) только при прохождении отрезков с низким риском (см. зеленые интервалы на рисунке 11). Здесь приемлем метод бурения по точкам, поскольку скважину бурится параллельно наклону целевого пласта, и траектория нуждается в минимальных поправках угла наклона. Но как только скважина начинает переход через стратиграфическую зону, достигает опасного положения относительно границ пласта, либо выходит за пределы пласта, следует применить метод бурения по линии (метод векторного определения целей).