

Петр Прзыбыло, GeoModes

Piotr Przybylo, GeoModes

# Прошлое и будущее геонавигации

## Geosteering: The Past and the Future

Традиционная геонавигация становится всё более сложной, быстрой и требует всё большего количества данных в реальном времени. Это налагает на специалистов по геонавигации огромную ответственность, так как свои решения они должны принимать за более короткий промежуток времени, соблюдая точность, и аналитически обрабатывая огромный объем данных.

Но так было не всегда.

### Исторический взгляд на геонавигацию

Многие из нас помнят, что примерно 20 лет назад геонавигация выглядела совсем иначе. В прошлом, горизонтальное и наклонно-направленное бурение было относительно проще, медленнее, и позволяло без особой спешки собирать и интерпретировать данные, выбирая направление бурения. Было меньше диаграмм и требовалось вносить меньшее количество изменений в наклоне скважины.

Решения в традиционной геонавигации принимались в основном по шламу, и только потоки данных каротажа в процессе бурения, такие как гамма-каротаж, плотность, и сопротивление (не азимутальное!) передавались в реальном времени.

Conventional geosteering becomes more complex, faster and requires more data in real-time. This puts an incredible amount of pressure on geosteers as their decisions need to be taken in a shorter amount of time, need to be more precise and require from him/her analysis of a larger amount of data.

But that was not always the case.

### A Historical Glance at Geosteering

Many of us remember that just roughly 20 years ago geosteering looked quite different. In the past, horizontal and deviated drilling was relatively simple, slower and allowed enough time to collect and interpret the data and select the direction of drilling. There were relatively fewer logs to look at and fewer changes of well's inclination.

Conventional geosteering decisions were first based on cuttings, and only LWD log streams like gamma-ray, density, and resistivity (non-azimuthal!) were streamed in real-time.

Geosteers (or well placement engineers) paid attention to negative and positive drill breaks and had very little information about the subsurface due to a very shallow depth of investigation of these sensors.

Специалисты по геонавигации (или инженеры по размещению скважин) обращали внимание на «провалы» в проходке, либо внезапные остановки, и не имели достаточной информации по пласту в силу недостаточной глубины действия данных датчиков.

Затем, с внедрением азимутальных измерений (особенно по плотности и каротажу сопротивления, и соответственно наклонограмм, геонавигация стала своего рода творческим процессом, осуществляемым в трехмерном измерении. Команды геонавигации, помимо «вверх» и «вниз» стали включать в себя также «влево» и «вправо» (наклон скважины – командами «вверх» - «вниз», и азимутальные изменения в направлении скважины – командами «влево» - «вправо»).

Я лично помню то время, когда специалисты по геонавигации перестали обращать внимание на шлам (по крайней мере, их анализ перестал быть для них решающим) и сосредоточились на большем объеме более точных (имея ввиду большую глубину исследования) наклонограмм каротажа в процессе бурения, поначалу с четырьмя секторами, а затем с 8, и даже с 16 или 32 секторами, опоясывающими ствол скважины.

Наконец, не так давно, с внедрением инструментов глубокого измерения электромагнитного удельного сопротивления в направленном бурении (инструменты «смотрящие» впереди долота) родилась проактивная геонавигация, и размещение скважин уже перестало быть прежним.

Одновременно, совершенствование инструментов каротажа в процессе бурения, цифровизация, и развитие систем баз данных (в особенности, облачные технологии) создали ситуацию, где всё больший объём данных передается на скважинную площадку. Независимо от географического положения (континент или шельф) устаревшее спутниковое узкополосное соединение, используемое лишь в случае необходимости, уступило место беспроводному широкополосному скоростному Интернету, применяемому практически в любом месте на буровой установке. Высокоскоростные беспроводные терминалы (напр., наземные и морские установки обеспечения RAS-потоков данных), повсеместно применяемые по всей отрасли, позволяют осуществлять моментальные соединения с базами данных в реальном времени и работают в среде синхронизированных моделей/проектов одновременно в различных местах (напр., репозитории Petrel и Studio для управления пластовыми данными, Schlumberger), что было трудно себе представить еще несколько лет тому назад.

В сфере коммуникации (линии коммуникации между скважинной площадкой и любым офисом или станцией) также наступило значительное улучшение. Не нужно быть слишком старым, чтобы помнить, как нужно было пойти в офис компании, чтобы попросить разрешения

Then, with the introduction of azimuthal measurements (especially density and resistivity logs) and subsequently image logs, geosteering became a state-of-art process to be performed in a three-dimensional environment. The steering commands apart from “up” and “down” included “left” and “right” too (inclination - “up” and “down” and azimuthal “left” and “right” changes of the steering direction).

I myself remember the time when geosteers stopped paying attention to cuttings (or at least their analysis become less decisive) and focused more on a higher number of more precise (meaning – deeper depths of investigation) LWD image logs first with four sectors, then 8 and even 16 or 32 sectors around the borehole.

Finally, not so long ago, with the introduction of deep directional electromagnetic resistivity tools (“look ahead” of the bit tools) a proactive geosteering was born and the well placement was never the same again.

Simultaneously, the improvement of LWD tools, digitalization, and development of database systems (especially cloud systems) created a situation where bigger and bigger amounts of data could be transferred to the wellsite environment. Regardless of the geographical location (onshore or offshore) an obsolete satellite non-broad band connection used only in case of emergency has been replaced by wireless broadband fast internet available virtually in any place on drilling rigs. High-speed wireless terminals (e.g. RAS-Extend Land Vehicle and RAS-Extend Marine) commonly used across the industry allow for instantaneous real-time database connections and work in synchronized model/project environments across several locations (e.g. Studio repository in Petrel, SLB), something that was quite difficult to imagine just few years ago.

In the area of communication (communication lines between wellsite and in-office support elsewhere) there was also a significant improvement. You don't need to be that old to remember going to the company's main office to ask for permission to use the only satellite phone on the rig. It was a real revolution when stationary phone lines were installed on the rigs, and emails became a common way of conveying information.

Nowadays, video streaming between the involved parties is not uncommon. More, the recent virtual teams and virtual office concept pushed for the creation of digital virtual collaboration facilities (e.g. ACE – Advanced Collaborative Environment at BP) and even bigger regional and global collaboration centres. This is where the employees although located a thousand miles away from each other can obtain a feeling of being located in the same office, desk to desk. They are also digitally connected (via integrated digital platforms and applications) and collaborate across a variety of disciplines providing support to the wellsite in real-time (see figure 1). This significantly shortens the decision-making process resulting in a more efficient and effective geosteering process.

воспользоваться единственным спутниковым телефоном, имевшимся на площадке. Это казалось настоящей революцией, когда буровые площадки стали оборудовать стационарными телефонами, а электронная почта стала привычным способом передачи информации.

В наши дни уже не являются редкостью и видеоконференции между участниками процесса. И более того, продвигается концепция виртуальных команд и виртуальных офисов для создания условий цифровой виртуальной групповой работы (напр. Концепция «ACE» в компании BP – «перспективная среда групповой работы»), а также более крупных региональных и глобальных центров групповой работы. Здесь работники, находящиеся порой за тысячи километров друг от друга, могут реально ощущать, что они находятся в одном офисе, за соседними столами. Они также связаны информационно (посредством интегрированных цифровых платформ и приложений), и взаимно участвуют в работе по различным направлениям, обеспечивая поддержку буровым площадкам в режиме реального времени (см. рис. 1). Это значительно сокращает по времени процесс принятия решений, что отражается в более эффективной работе по геонавигации скважины.

**Эра цифровой трансформации**

С приходом эры цифровой трансформации,

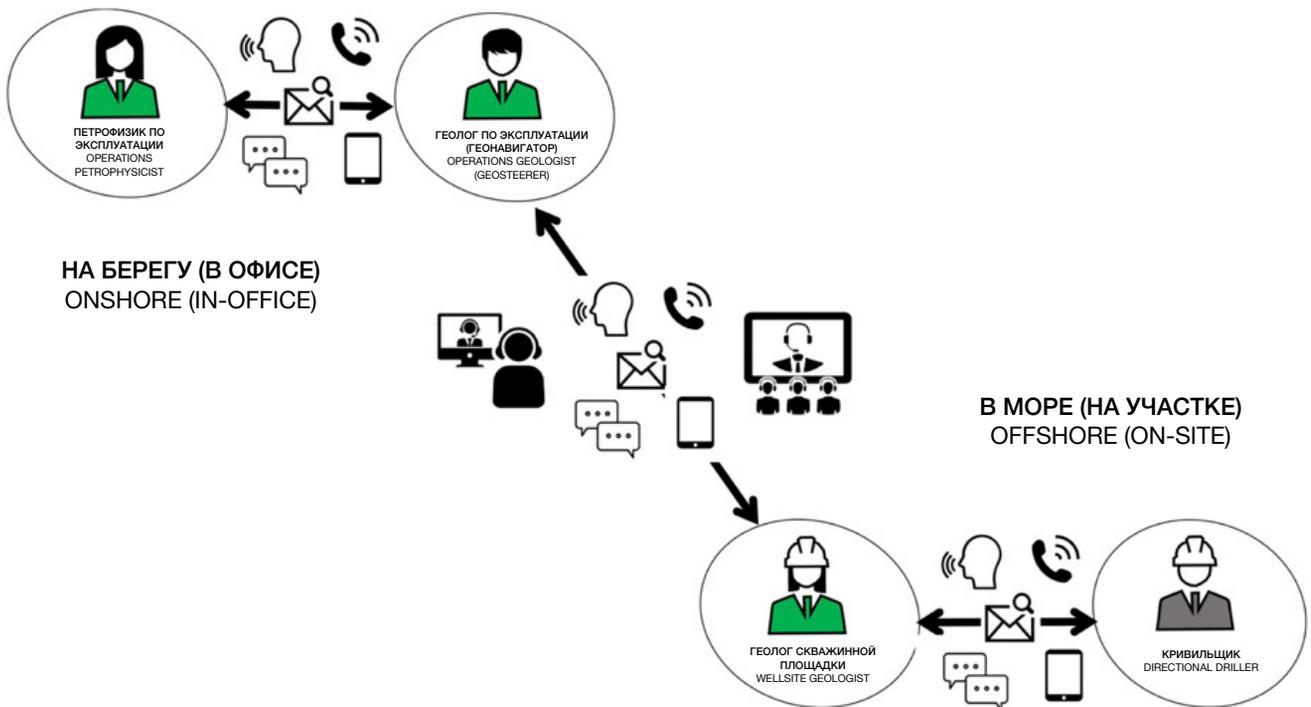
**Digital Transformation Era**

With the onset of the digital transformation era, exponential development of a variety of data solutions resulted in an increase of potential data sources feeding more efficient databases (efficiency of data storage, access, filtering, sharing, cloud solutions, etc.), shorter data collection and processing time, and the faster time needed for their robust analysis and the subsequent results sharing. Additionally, a need for merging the real-time data with the existing (previously gathered) data from e.g. offset wells was also addressed and is already available. With the adoption of Artificial Intelligence and Machine Learning, the data analysis process and their application will soon have no limits. An integrated well-informed decision-making process that involves a virtual multidisciplinary team operating within the digital environment will soon take over the geosteering for good.

But the future revolution in geosteering (and drilling) is yet to come.

**The Integrated Well-Informed Decision-Making Process**

In the past, making an error because of wrong data interpretation (meaning: incorrect data analysis) or due to too slow decision-making process (resulting from lack of data, lack of support, slow data collection, processing or sharing, etc.) and choosing an incorrect direction for steering was quite reversible and not absolute. Relatively slow drilling process mitigated slow reaction time and



**Рис. 1:** Команды по геонавигации, связанные информационно, посредством интегрированных цифровых платформ и приложений, участвующие в работе по различным направлениям, и обеспечивающие поддержку буровым площадкам в режиме реального времени  
**Fig.1:** Geosteering teams digitally connected via integrated digital platforms and applications collaborating across a variety of disciplines and providing support to the wellsite in real-time

экспоненциальное развитие получил ряд решений в области данных, что выразилось в росте числа потенциальных источников данных, передаваемых в более эффективные базы данных (эффективность хранения, доступа, распределения данных, решения облачного хранения данных, и т.д.), сократившееся время сбора и обработки данных, и теперь требуется быстрее анализировать эти данные, и делиться ими с другими участниками. В дополнение к этому, требует внимания процесс встраивания новых данных в уже существующий набор (до этого собранных) данных из соседних скважин, к примеру, и это уже имеет место. С вводом возможностей Искусственного интеллекта и машинного обучения, процесс анализа данных и их применения вскоре не будет иметь никаких ограничений. Процесс интегрированного и хорошо информированного принятия решений, в котором виртуально задействована многоцелевая команда, работающая в одной цифровой среде, вскоре займет место геонавигации, как таковой.

Но грядущая революция в геонавигации (и бурении) еще не совсем наступила.

### Процесс интегрированного хорошо информированного принятия решений

В прошлом, принятие ошибочного решения, по причине неверной интерпретации данных (имея в виду, неверный анализ данных), либо в силу слишком медленного

eventual correction of the drilling angle was achievable.

The risk of wrong well placement (meaning: the risk of wrong inclination decision) was distributed across the drilling time and was related to:

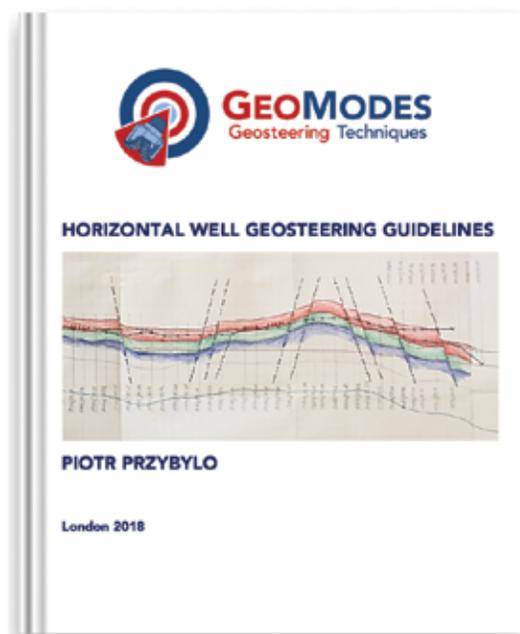
- limited data available for making decisions (guessing, hints, premonitions),
- decision-making process inefficiency (not suitable processes, traditional obsolete organizational setup, lack of support),
- inefficient and not adequate communication lines

Currently, the risk of incorrect well placement remains equally high, but it results not from limited data, inefficient decision-making process of poorly designed communication lines, but from extremely small margins allowed for mistakes and from the need for an extremely fast decision-making process. The process of data collection from a variety of sources, data processing, and analysis, cross-checking with the model, results sharing and distribution across the multidisciplinary team and finally making an integrated well-informed decision about inclination change needs to occur in a matter of minutes! And then sending the downlink to the tool with the new inclination target must happen within these few minutes as well.

Nowadays, no one has the comfort of making a mistake and then correcting it. The world of lower margins in the oil and

## THE SCIENCE OF GEOSTEERING AS NEVER PUBLISHED BEFORE

### Horizontal Well Geosteering Guidelines by Piotr Przybylo



- Ever wished you could find all the answers to your geosteering questions in one place ?
- Are you tired of looking at several different sources and still being unsure if you found the right answer ?
- Do you crave a simple and clear explanation for complex ideas ?

We have the perfect solution for you in our first ever printed

**GEOSTEERING BOOK** →



**BLURB.CO.UK**

**AMAZON.COM**

**GEOMODES.COM**

процесса принятия решений (что являлось следствием недостаточности данных, недостаточного обеспечения, медленного сбора, обработки данных, и их обмена, и т.д.) и выбор неверного направления бурения скважины был вполне обратим, и не являлся окончательным. Относительно медленный процесс бурения смягчал недостаток медленного реагирования, и было возможно, в конце концов, корректировать угол бурения.

Риск ошибочного размещения скважины (имея в виду, риск неверного решения по отклонению скважины) «размазывался» по всему времени бурения и был связан со следующими факторами:

- Ограниченность данных, необходимых для принятия решений (догадки, советы, предостережения)
- Неэффективность процесса принятия решений (неадекватные процессы, традиционно устаревший организационный подход, недостаток обеспечения)
- Неэффективные и неадекватные линии коммуникации

В настоящем, риск неверного размещения скважины остается равно высоким, но это является результатом не ограниченности данных, или неэффективного процесса принятия решений по плохо организованным линиям коммуникации, а результатом крайне узких границ, допускающих совершение ошибок, и по причине необходимости чрезвычайно быстрого процесса принятия решений. Процесс сбора данных из различных источников, обработка данных, и их анализ, сверка данных с моделью, распределение результатов между участниками многоцелевой команды, и, наконец, принятие интегрированного хорошо информированного решения по изменению траектории скважины требуется осуществить в пределах нескольких минут! А затем послать сигнал на оборудование с новыми координатами цели в пределах тех же нескольких минут.

В наши дни, никто уже не может чувствовать себя комфортно, принимая ошибочные решения, а затем исправляя их. Мир низкой маржи в нефтегазовой отрасли, чрезвычайно высокие затраты на бурение, и нестабильный уровень нефтяных цен, не позволяют компаниям размещать скважины вне продуктивных зон, повторно разбуривать их, либо осуществлять зарезку боковых стволов. Уже нет. Бюджеты становятся всё туже и туже.

### Цифровая ситуационная осведомленность

Вот когда на сцену выходит очередная революция в геонавигации.

Оператор, который обладает преимуществом владения информацией, собранной из различных источников, а затем обработкой, анализом, интегрированием и передачей ее, как можно быстрее, другим

gas industry, extremely high drilling cost, and fluctuating oil prices made companies unable to afford placement outside of the pay zone, re-drilling or sidetracking. Not anymore. The budgets are tighter and tighter.

### Digital Situational Awareness

This is when the next geosteering revolution comes to the stage.

An operator who possesses an advantage in the amount of information collected from multi-sources, then processing, analysing, integrating and transmitting it faster than others will win the race. Everyone who provides real-time data that covers a bigger «chunk» of the subsurface environment than others and is then able to analyse it properly in real-time and communicate it across their multidisciplinary teams with sufficient speed and ultimately send a correct command to the tool will win (figure 2).

This capability is called digital situational awareness and covers all the information collected about the three-dimensional subsurface environment available at any given point for interpretation that can be used for well-informed decision-making process.

The process includes following steps:

- Data collection,
- Data processing
- Merging the results with the data already possessed (stored e.g. offset wells data)
- Analysis of combined data from multiple sources
- Data results sharing
- The results presented in a simple and digestible form to all sites in real-time
- Multidisciplinary decision-making process based on the results
- The result – integrated well-informed decision
- Digital situational awareness is obtained at any given point of the geosteering process

Situational awareness is the perception of environmental elements and/or events with respect to time and space, the comprehension of their meaning, and the projection of their future status. Situational awareness can be defined simply as “knowing what is going on around us” or – more technically – as the perception of the elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning and the projection of their status in the near future.

Situational awareness obviously also needs to cover the biggest three-dimensional subsurface space as possible that a well is being drilled through and be as detail as possible. Situational awareness is a base for making all geosteering decisions. Being aware of the subsurface environment a well drills through at any given point of

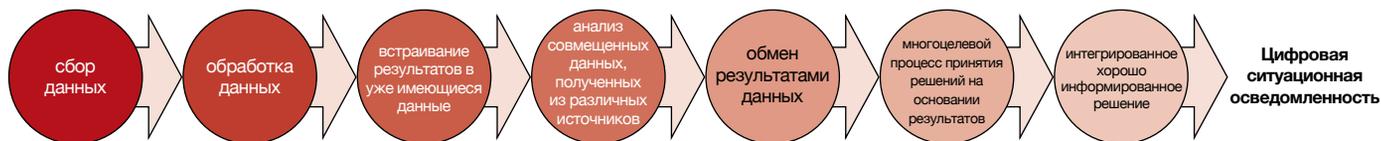
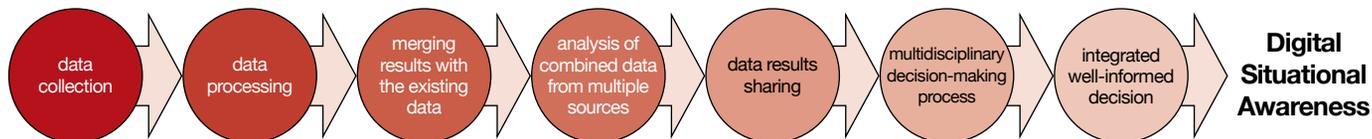


Рис.2: Цифровая ситуационная осведомленность

Fig. 2: Digital situational awareness



участникам процесса, выигрывает эту гонку. Каждый, кто обеспечивает данные в режиме реального времени, которые охватывают наибольший «кусочек» геологической среды, в большей мере, чем другие, способный анализировать их должным образом, в режиме реального времени, передавая их по всей цепочке участников многоцелевой команды с достаточной скоростью, и наконец, дающий правильную команду оборудованию, только выигрывает (рисунок 2).

Данная способность называется цифровой ситуационной осведомленностью, которая включает в себя всю информацию, собранную по трехмерной геологической среде, доступную в любой точке процесса ее интерпретации, и которую можно использовать с целью хорошо информированного процесса принятия решений.

Процесс включает в себя следующие шаги:

- Сбор данных,
- Обработка данных
- Встраивание результатов в уже имеющиеся данные (хранящиеся данные по соседним скважинам, напр.)
- Анализ совмещенных данных, полученных из различных источников.
- Обмен результатами данных
- Результаты предоставляются в простой и доступной форме всем площадкам в реальном времени
- Многоцелевой процесс принятия решений на основании результатов
- Результат – интегрированное хорошо информированное решение
- Цифровая ситуационная осведомленность достигается в любой момент процесса геонавигации.

Ситуационная осведомленность это восприятие элементов среды и/или событий относительно времени и пространства, понимание их смысла, и предвидение их будущего состояния. Ситуационную осведомленность можно просто определить, как «знание того, что происходит вокруг нас» или – более техническим языком – как восприятие элементов среды в объеме

the drilling process creates a situation where one is consciously able to make a decision about whether to steer up or down. And it is no longer guesswork, rather it is a well-informed decision being taken consciously and based on a full 360 degrees three-dimensional detailed picture of the subsurface environment.

With this modern informational-situational awareness, the one who has an advantage over the others and drills the most optimally placed well, at the same time in the fastest and the cheapest way will win.

This is the future.

времени и пространства, понимание их смысла, и предсказание их состояния на ближайшее будущее.

Ситуационная осведомленность, очевидно, также предполагает охват как можно большего трехмерного пространства, в котором бурится скважина, и наибольшую подробность такой информации. Ситуационная осведомленность является основой для принятия решений в геонавигации. Осведомленность о геологической среде, в которой в любой данный момент бурится скважина, создает ситуацию, где можно сознательно принимать решение о том, бурить выше или ниже. И это больше не «гадания», а вполне информированное решение, принимаемое сознательно, на основании подробной и полной 360-градусной картины трехмерного измерения подземной геологической среды.

Имея такую современную информационно-ситуационную осведомленность, тот, кто обладает преимуществом над другими, и бурит наиболее оптимально посаженную скважину, и в то же время делает это наиболее быстрым и экономичным способом, только выигрывает.

И это будущее.