Direction and Inclination
Модуль 2 – Теория измерений
Module 2 – Survey Theory

D&M Learning Centers
Updated Mar 19th, 2008

Schlumberger

Schlumberger Confidential

Задачи модуля
Module Objectives

- По окончании этого модуля инженер должен уметь:
  At the end of this module you should be able to
  - Перечислить и описать различные типы инклинометров
    List and describe the different types of Survey Tools
  - Объяснить основные преимущества гироскопических инклинометров
    Explain the major benefit of Gyro based survey measurements
  - Обозначить все элементы, определяющие точку замера
    Describe all the elements that define a survey station
  - Описать как вычисляется зенитный угол скважины
    Describe how we calculate the Inclination measurement
  - Описать как вычисляется азимут
    Describe how we calculate the Azimuth measurement
  - Перечислите и опишите критерии качества замера
    List and describe the Field Acceptance Criteria

Schlumberger Confidential

Задачи модуля
Module Objectives

- По окончании этого модуля инженер должен уметь:
  At the end of this module you should be able to

  - Перечислить коррекции, которые применяются к измерениям зенитного угла и магнитного азимута
    List and describe the corrections applied to Inclination and Magnetic Azimuth and be able to calculate them.
  - Описать различные методы вычисления замеров и обозначить метод, применяемый в IDEAL/Maxwell
    Explain different survey calculation methods and identify which survey calculation method is used by IDEAL.
  - Объяснить точку привязки и каждый из результатов вычисления замера
    Describe a Tie In Point and all the outputs from the survey calculations
  - Объяснить, что такое эллипс неопределенности, и чем он важен
    Explain what an Ellipse of uncertainty is and why it is important

Schlumberger Confidential

Schlumberger

1. Инклинометры

Survey Tools

Schlumberger Confidential

Типы инклинометров – индикаторы смещения
Types of Surveying Tool -Inclination Only

- Производят только замеры зенитного угла
  Provide borehole inclination only
- Недорогой способ контроля вертикальности скважины
  Used to monitor verticality of well bore – cheaply
- Существуют для применения как «во время бурения», так и «после бурения»
  Available for “whilst drilling” & “after drilling”
  - TOTCO → после бурения → диск с пробитыми метками
    TOTCO → after drilling → punched card-board disc
  - AnderDrift → во время бурения → механическое устройство, посылающее импульсы давления
    AnderDrift → whilst drilling → mechanical device sending pressure pulses up hole
- Не дают высокой точности – применяются только для общей оценки
  Not very accurate – give a general indication

Schlumberger Confidential

Schlumberger

Типы инклинометров - измеряющие угол и азимут

Types of Surveying Tool - Inc & Az Tools

- Магнитные приборы – измерение магнитного азимута
  Magnetic Azimuth Tools

  Измерение магнитного азимута

  MN referenced

  - Одноточечные
    Single Shot
    - Измерения регистрируются на диске с фотопленкой или электронным способом
      Film disc or electronic
  - Многоточечные
    Multi Shot
    - Измерения регистрируются на фотопленку или электронным способом
      Film strip or electronic
  - Телесистемы MWD – измерения в процессе бурения
    MWD tools
    - Измерения производятся электронными компонентами
      Electronic components

Schlumberger Confidential

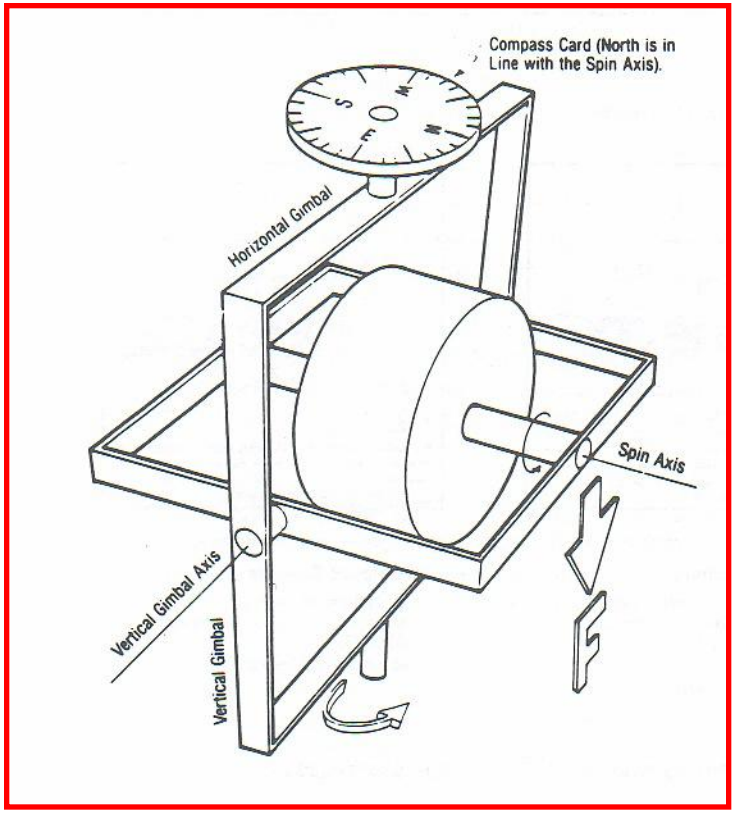
Schlumberger

Типы инклинометров - измеряющие угол и азимут

Types of Surveying Tool - Inc & Az Tools

- Гироскопические приборы
  Gyroscopic Azimuth Tools

  Измерение географического азимута
  TN referenced
  - Свободные гироскопы
    Free Gyro
  - Гироскопы угловой скорости вращения Земли
    Earth Rate Gyro



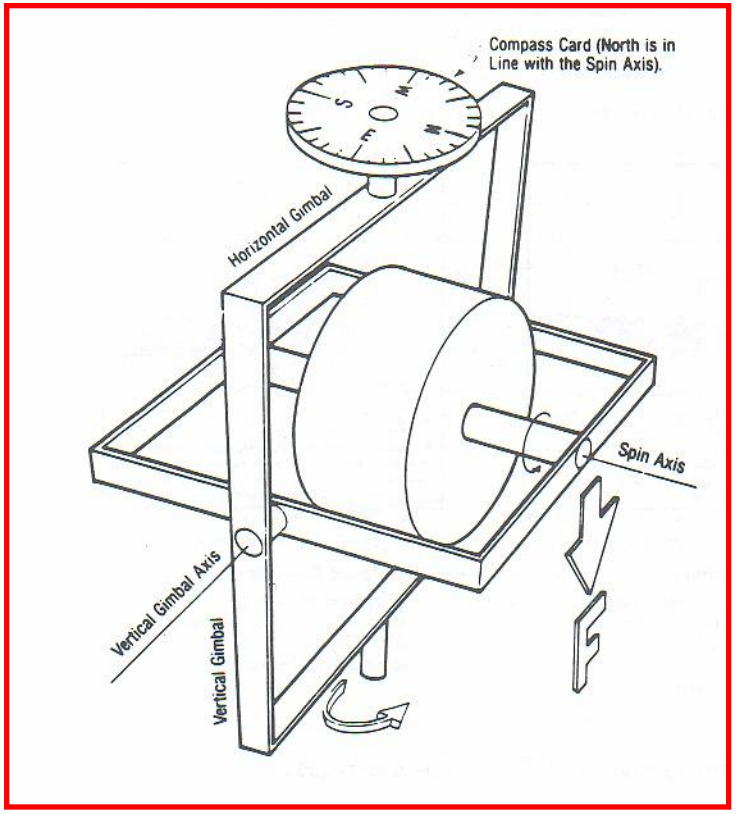
Schlumberger Confidential

Schlumberger

Типы инклинометров - гироскопы
Types of Surveying Tool – Gyroscopic Tools

Теория гироскопа
Gyro Theory

- Уравновешенная вращающиеся масса
  Balanced spinning mass
- Масса свободно вращается вокруг одной или нескольких осей
  Free to rotate on one or more axis
- При этом противостоит воздействию внешних сил
  It is resistant to external forces
- Не подвержена воздействию магнитных сил
  It has no magnetic effects

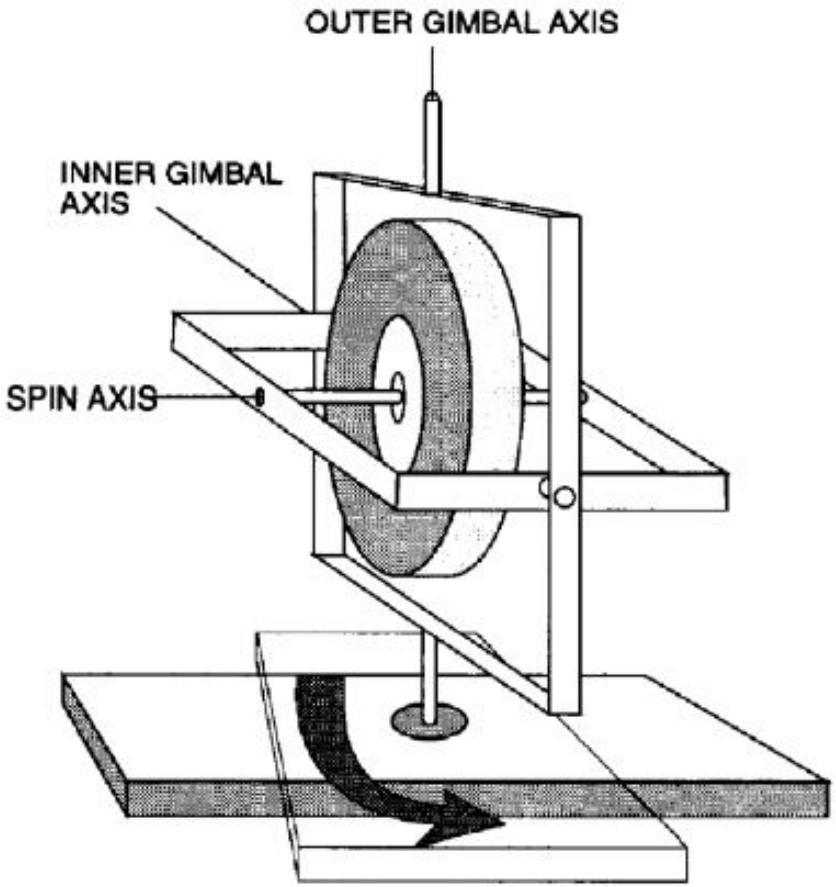


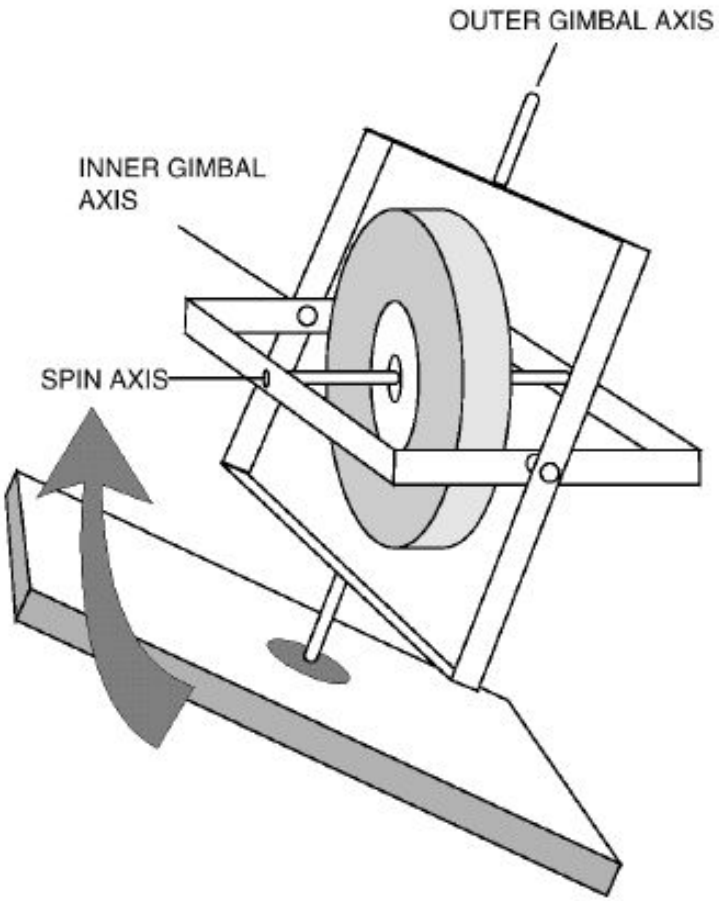
Schlumberger Confidential

Schlumberger

Типы инклинометров – гироскопические приборы

Types of Surveying Tool - Gyroscopic Tools





Schlumberger Confidential

Schlumberger

Типы инклинометров - гироскопы

Types of Surveying Tool – Gyroscopic Tools

Существуют два типа гироскопов

Two types of tools

- Свободный гироскоп

  Free Gyro

  – Прибор ориентирован по определенному направлению, измеряется отклонение от этого направления, откорректированное по дрейфу

  – Tool aligned to a specific heading and variation from this heading, corrected for drift is measured

- Гироскоп угловой скорости вращения Земли

  Earth Rate Gyro

  – Азимут определяется с помощью измерения угловой скорости вращения Земли

  Speed of earths rotation measured and processed to a specific azimuth

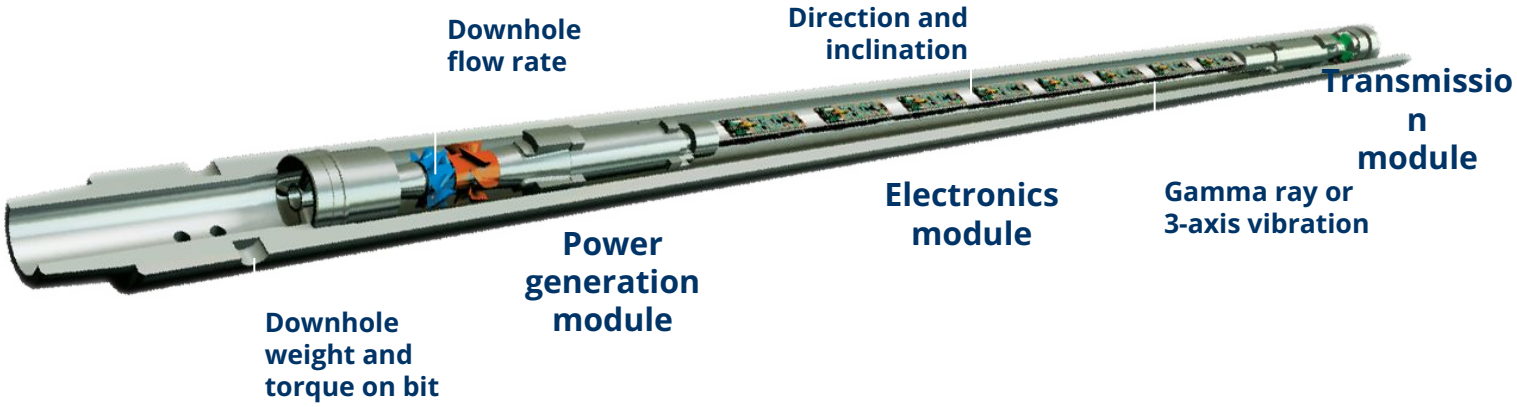
Schlumberger Confidential

Schlumberger

Типы инклинометров – телесистемы MWD

Types of Surveying Tool - MWD Tools

- Не извлекаемые, смонтированные в УБТ компоненты
  Non-Retrievable Collar Mounted
  - PowerPulse*
  - TeleScope*
  - IMPulse*
- Компоненты извлекаемые
  Retrievable Collar Mounted
  - SlimPulse*
  - E-Pulse



Schlumberger Confidential

Schlumberger

2. Что составляет замер инклинометрии, и каким образом он берется?

What is a Survey and how do we take it?

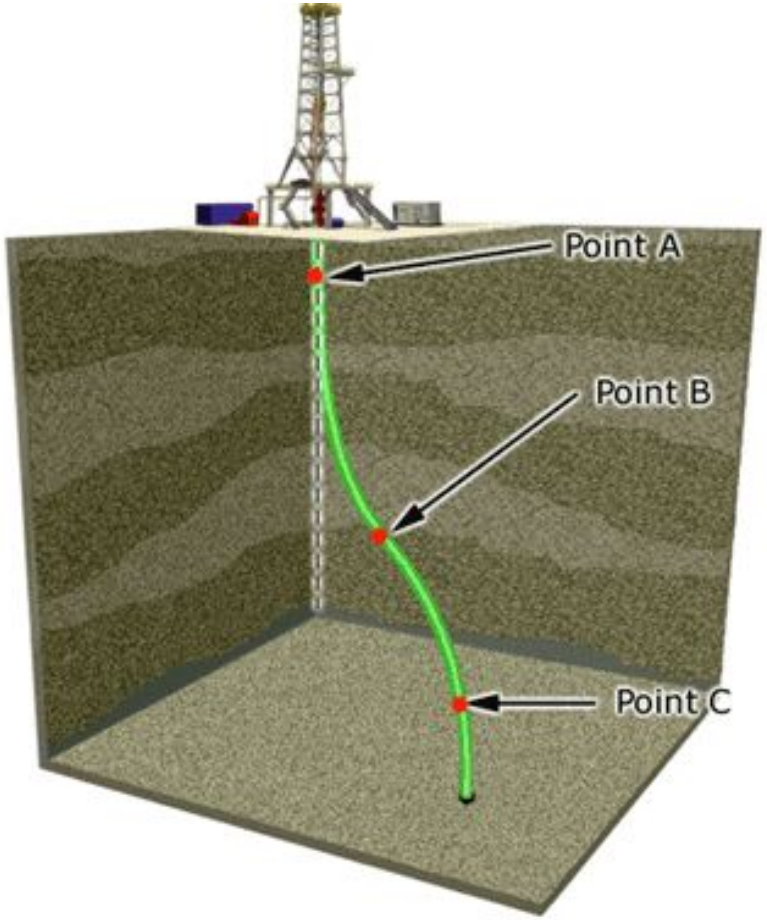
Schlumberger Confidential

Определение замера
Survey Definition

Замер состоит из трех измерений, сделанных в одной точке:

A survey is simply three measurements made at a point below the surface of the earth:

- Глубина по стволу скважины
  Measured Depth
- Зенитный угол
  Inclination
- Азимут
  Azimuth



Schlumberger Confidential

Schlumberger

Инклинометрия приборами MWD

Measuring D&I with MWD tools

- Прибор MWD измеряет зенитный угол ствола скважины путем измерения направления гравитационного поля Земли относительно прибора

  The MWD tool measures the Inclination of the well bore by measuring the direction of the earths Gravitational Field relative to the tool.

- Прибор MWD измеряет азимут ствола скважины путем измерения направления магнитного поля Земли относительно прибора

  The MWD tool measures the Azimuth of the well bore by measuring the direction of the earth's Magnetic Field relative to the tool.

- Измерение глубины по стволу выполняется датчиками наземной системы

  The depth measurement comes from our surface sensors

Schlumberger Confidential

Schlumberger

Базовая терминология
Basic Nomenclature

- Нашей целью является измерение следующих физических свойств Земли:

  The Earths properties that we are trying to measure:

  - H – вектор магнитного поля (в гаммах)

    H = Total Magnetic Field Strength (gammas)

  - G – вектор гравитационного поля

    G = Total Gravity Field Strength

- Параметры, фактически вычисляемые в IDEAL/Maxwell

  What we actually Calculate inside IDEAL:

  - Tool H = вычисляемый магнитный вектор (counts)

    Tool H = What we calculate for the Magnetic Vector (counts)

  - Tool G = вычисляемый гравитационный вектор

    Tool G = What we calculate for the Gravity Vector

Schlumberger Confidential

Schlumberger

Зенитный угол – вектор гравитационного поля

Inclination - Gravity Field Vector

- Зенитным углом в данной точке ствола скважины называется угол отклонения ствола от вектора g

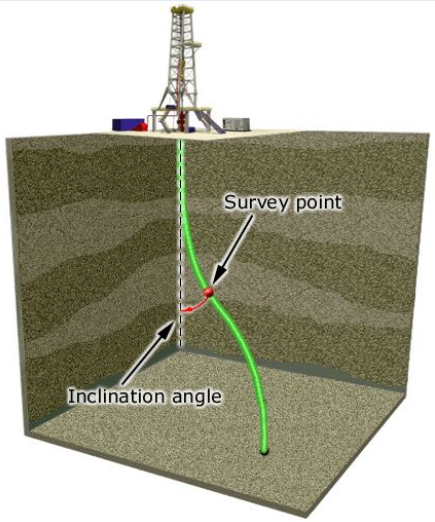
  The inclination at a point along the well bore is a measurement of the angle of deviation from vector g

- Вектор g направлен к центру Земли

  Vector g points towards the center of the Earth

- Единица измерения – «counts», 1000 counts = 1g

  Units of measurement are “counts”, 1000 “count” = 1g



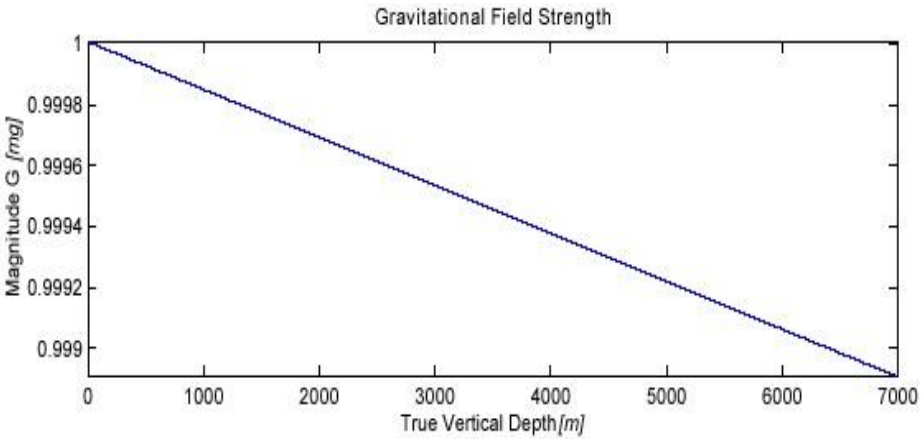
Schlumberger Confidential

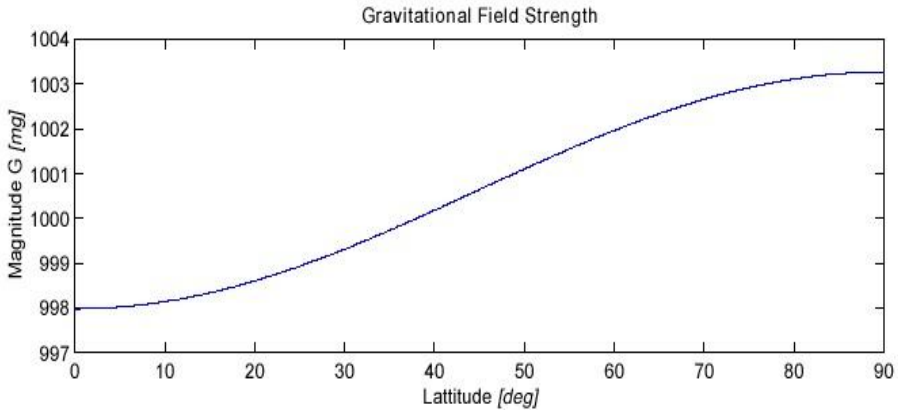
Schlumberger

Зенитный угол – вектор гравитации

Inclination – Gravity Field Vector

- Вектор гравитации изменяется с вертикальной глубиной и по широте
  Gravity Field Strength changes with TVD and Latitude
- Вектор гравитации и вертикальная глубина
  Gravity Field vs. TVD
  - С приближением к центру Земли, вектор гравитации уменьшается
    Closer to center of Earth, Gravity Field Strength decreases
- Вектор гравитации и широта
  Gravity Field vs. Latitude
  - С приближением к экватору, вектор гравитации уменьшается (Земля шире в диаметре)
    Closer to Equator, Gravity Field Strength decreases (earth is wider than it is tall)



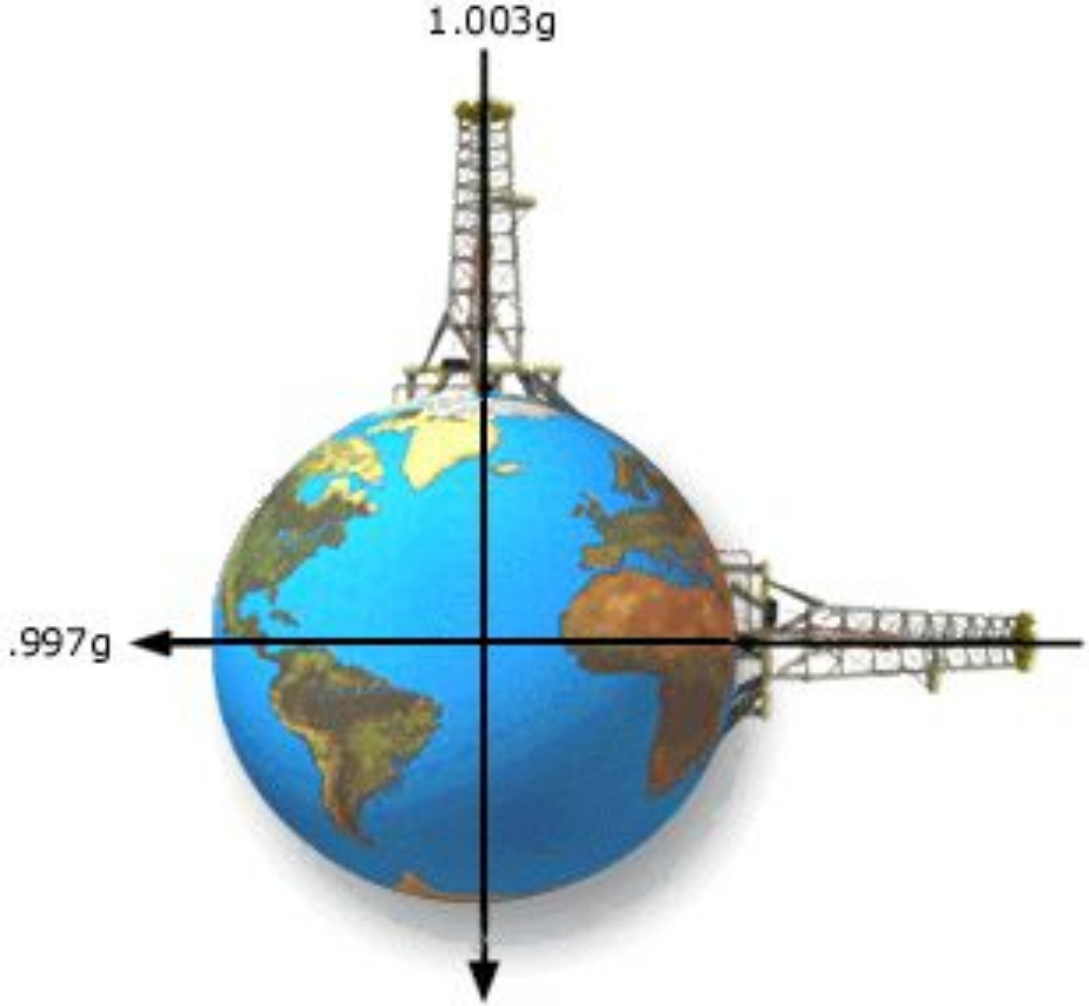


Schlumberger Confidential

Schlumberger

Зависимость гравитационного поля от широты

Gravity Field vs. Latitude



Schlumberger Confidential

Schlumberger

Зенитный угол – приборы MWD - акселерометры

Inclination - MWD Tools - Accelerometers

- Это устройство чувствительно к вектору гравитации

  This device is sensitive to the Earth's Gravity Field vector

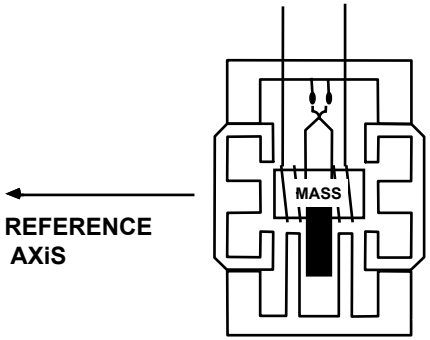
- Таких устройств в инклинометре 3

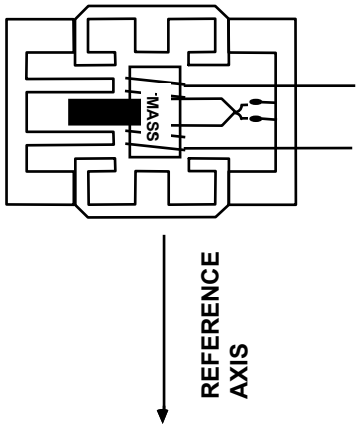
  We have 3 of these devices in a D&I package

- Они расположены под углом 90° относительно друг друга

  They are arranged at 90 degrees to each other in a mutually orthogonal set

- Gx, Gy and Gz





Direction of Gravitational Field

stationa
ry

Schlumberger Confidential

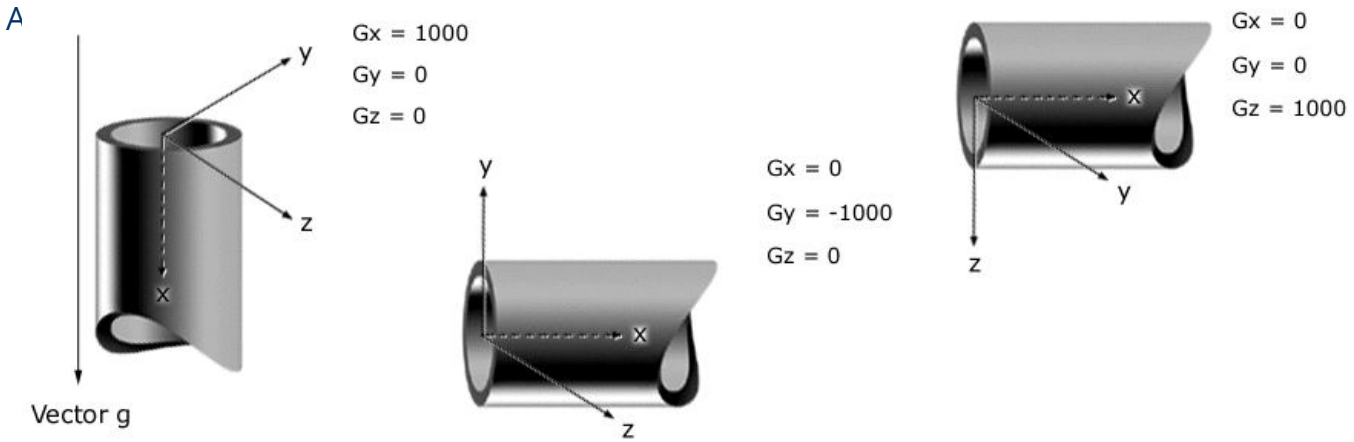
Schlumberger

Зенитный угол – трехосные акселерометры

Inclination - Tri-Axial Accelerometers

- Gx, Gy and Gz
  - Акселерометр, ось которого расположена вдоль вектора гравитации, читает +/- 1000 counts

    An accelerometer lined up with the Gravity Vector gives +/- 1000 counts
  - Акселерометр, ось которого расположена перпендикулярно вектору гравитации, читает 0 counts



Schlumberger Confidential

Schlumberger

Зенитный угол – измерения акселерометрами

Inclination – Accelerometer measurements

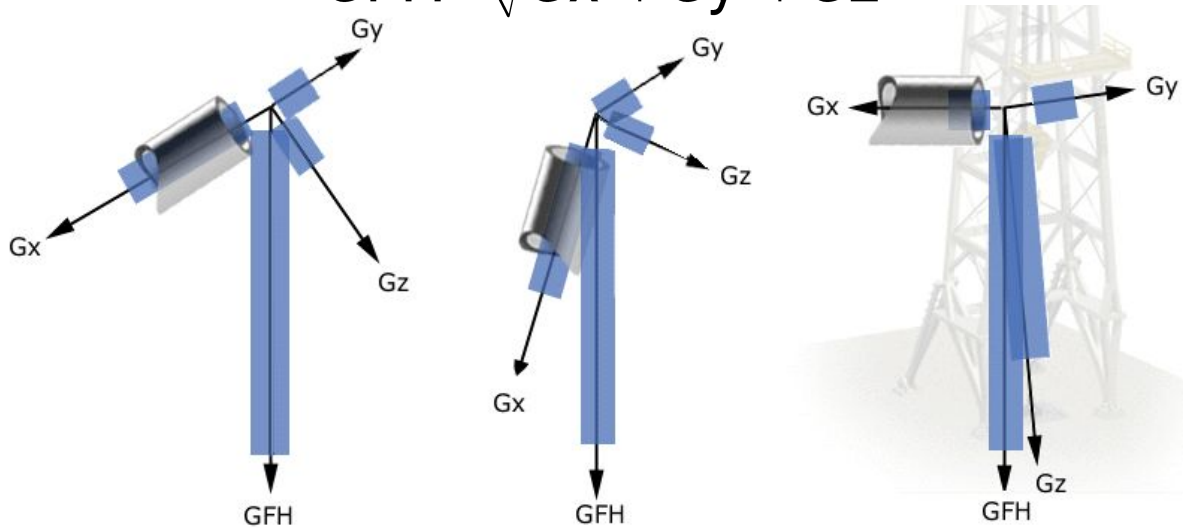
- В независимости от положения прибора в пространстве, GFH остается постоянным

  No matter what the tool orientation, GFH is stable
- GFH, вычисленный из показания прибора, должен быть близок по значению к значению, данному Geomag

  Таким образом этот параметр можно использовать как критерий для проверки качества измерения

  GFH as calculated from tool should be close to Geomag value. This can therefore be used as a Quality Control Measurement

$$GFH = \sqrt{Gx^2 + Gy^2 + Gz^2}$$



Schlumberger Confidential

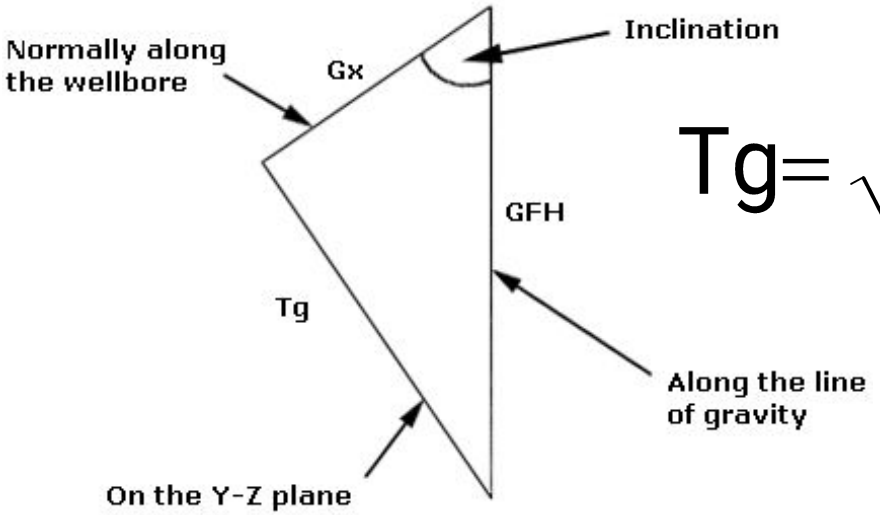
Schlumberger

Зенитный угол – вектор Tg

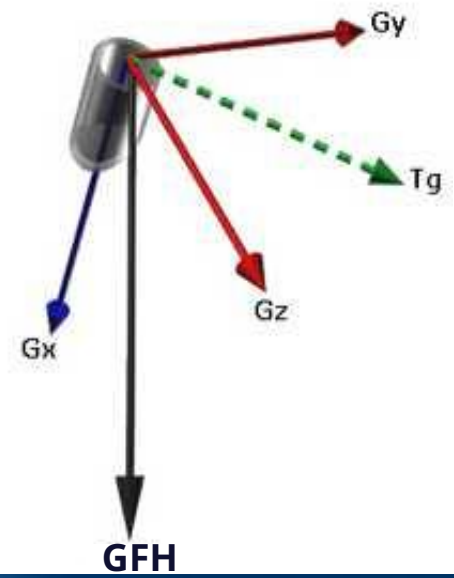
Inclination - Tg Vector

- Вектор Tg - проекция GFH на плоскость Y-Z
  Vector Tg is actually the projection as GFH onto the Y-Z plane
- В независимости от расположения прибора в пространстве, Tg остается постоянной (Roll Test)

  Таким образом этот параметр можно использовать как критерий для проверки качества измерения
  No matter what the tool orientation, Tg is stable (Roll Test). This can therefore be used as a Quality Control Measurement



$$Tg = \sqrt{Gy^2 + Gz^2}$$



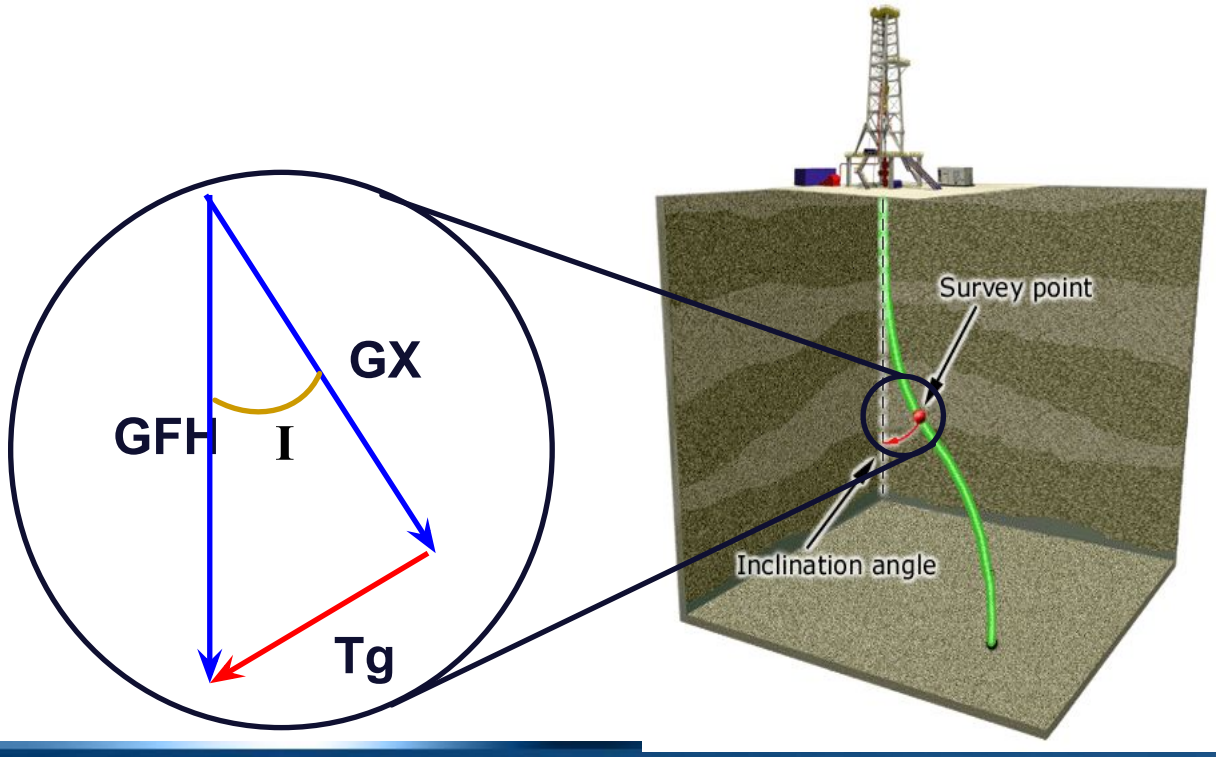
Schlumberger Confidential

Schlumberger

Зенитный угол – вычисление зенитного угла
Inclination – Calculation of Inclination

- Угол между осью X прибора и гравитационным вектором
  Angle between the x axis of the tool an the gravity vector

$$I = \tan^{-1}(Tg/Gx); Tg = \sqrt{Gy^2 + Gz^2}$$



Schlumberger Confidential

Schlumberger

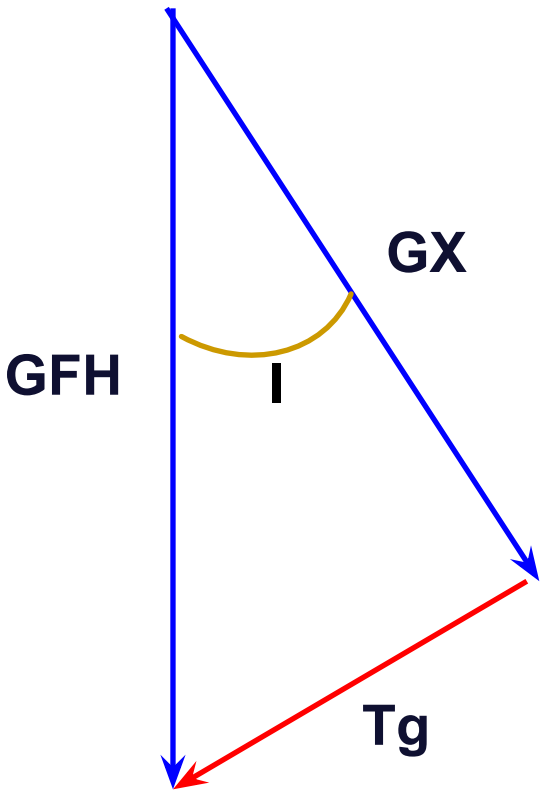
Inclination - Practical

- Вычислить значение зенитного угла по данным ниже

  Calculate the value of Inclination from the data below:

  - Gx = 765
  - Gy = 234
  - Gz = 600

Зенитный угол = ?
Inclination = ?



Schlumberger Confidential

Schlumberger

Поправки зенитного угла – коррекция прогиба (1)

Corrections to Inclination - BHA Sag (1)

- Прибор MWD редко бывает точно централизован в стволе скважины – ось прибора не параллельна оси скважины

  The MWD tool generally does not lie exactly centralized in the bore hole – the main tool axis and the wellbore axis are not parallel.
- Под действием гравитации прибор может прогибаться

  Due to gravity the tool will sink to the bottom of the borehole (sag).
- При наличии стабилизаторов в КНБК, прибор находиться под углом к оси скважины

  Stabilizers in the BHA will put the MWD at an angle.
- Необходимо уметь определять угол прогиба и применять эту поправку к зенитному углу

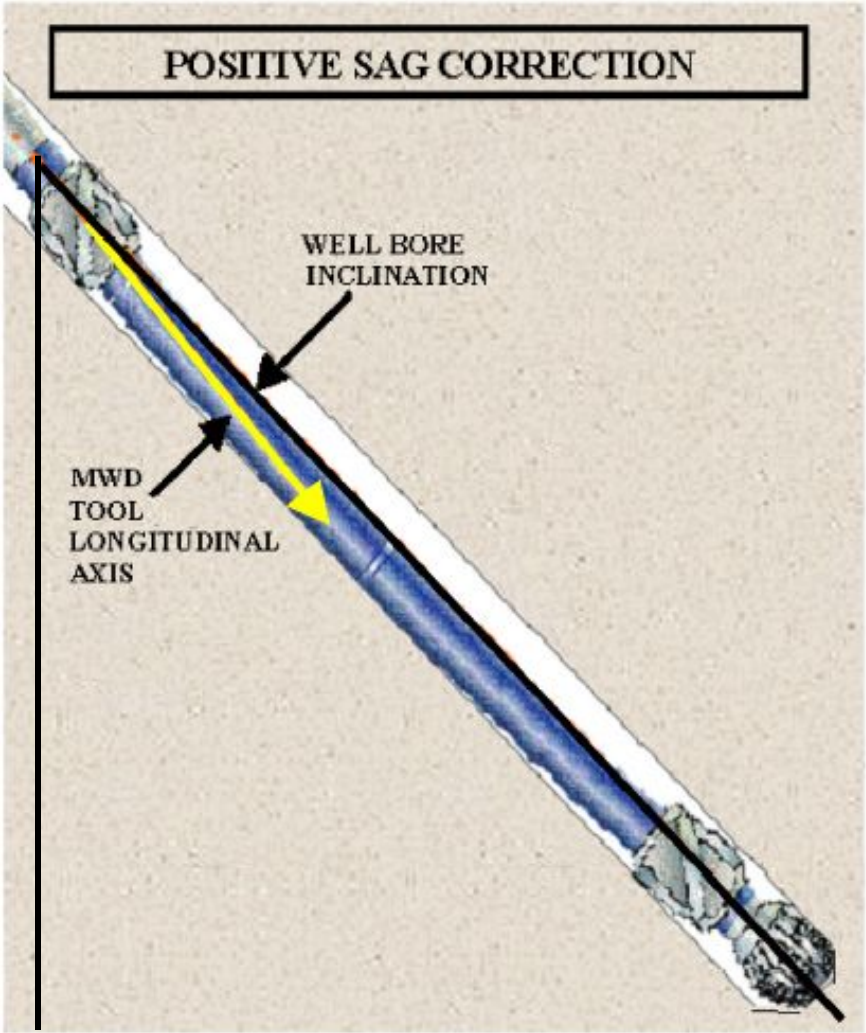
  Need to be able to quantify the amount of SAG and correct for it

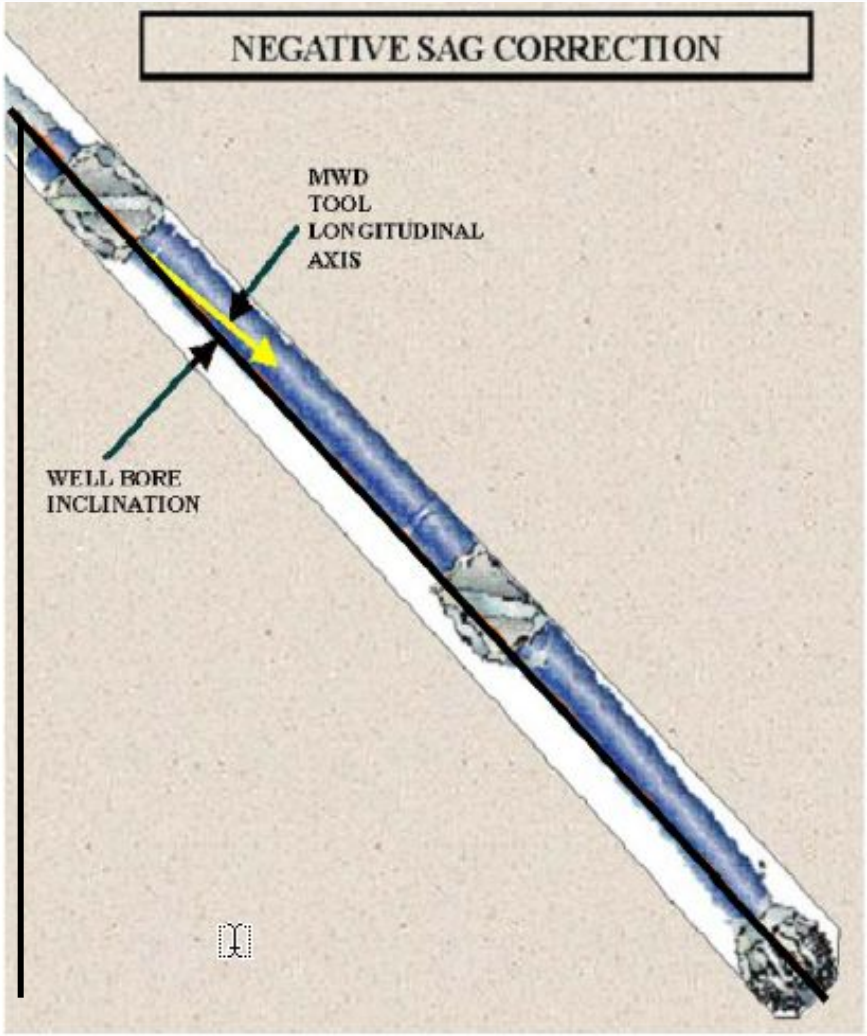
Schlumberger Confidential

Schlumberger

Поправки зенитного угла – коррекция прогиба (1)

Corrections to Inclination - BHA Sag (1)





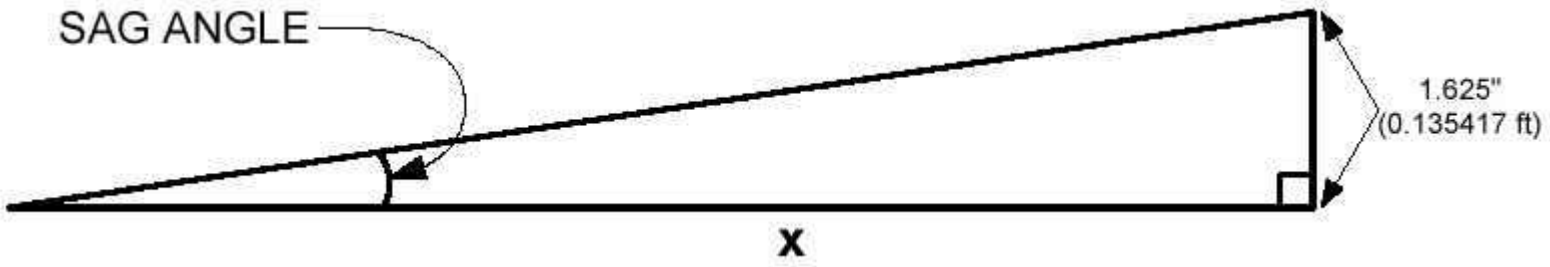
Schlumberger Confidential

Schlumberger

Прогиб КНБК – вычисление вручную (1)

BHA Sag - Manual Calculation (1)

- Один стабилизатор 12 ¼” над инклинометром MWD 9”
  Single 12 ¼” Stabilizer above 9” MWD tool
- Значение X: 25 футов для OD< 9”, 30 футов для OD >= 9”
  X is a constant: 25 ft < 9” OD >= 30
- Угол прогиба в горизонтальной скважине равен 0,26°
  SAG Angle for horizontal hole = 0.26°
- Для любого другого зенитного угла скважины угол прогиба умножается на синус зенитного угла
  For other bore hole angle multiple SAG Angle * Sin Inc.
- С каким знаком должна быть коррекция?
  Do we add or subtract?



Schlumberger Confidential

Schlumberger

Прогиб КНБК – вычисление вручную (2)

BHA Sag - Manual Calculation (2)

Стабилизаторы по обоим концам инклинометра

Stabilized at both Ends

- Если расстояние между стабилизаторами меньше 12 м, компоновка рассматривается как несгибаемая

  If stabilizer distance <40ft, treat as a rigid body

- Если расстояние >40 футов (для OD<8”) или >60 футов (для OD>8”), прогиб вычисляется как в случае с одним стабилизатором, с тем к которому пакет датчиков ближе

  If stabilizer distance is >40ft (<8” OD) or >60ft (>8” OD) then calculate as single stabilizer – whichever end the survey package is nearest to

- Если пакет датчиков находится на расстоянии не дальше 5 футов от центральной точки между двумя стабилизаторами, прогиб игнорируется

  If the survey package is within 5ft of the mid point b/w two stabilizers, then ignore

Schlumberger Confidential

Schlumberger

Прогиб КНБК (3)
BHA Sag (3)

- С помощью программы DrillSafe, которая входит в пакет Drilling Office можно вычислить прогиб КНБК

  DrillSafe, within the Drilling Office Suite of programs can calculate the BHA Sag
- Прогиб отсутствует в случае гладкой КНБК

  Only time SAG is not present – slick assembly
- Прогиб необходимо учитывать когда он > 0,1°

  If SAG angle is >0.1° it should be taken into account

Schlumberger Confidential

Schlumberger

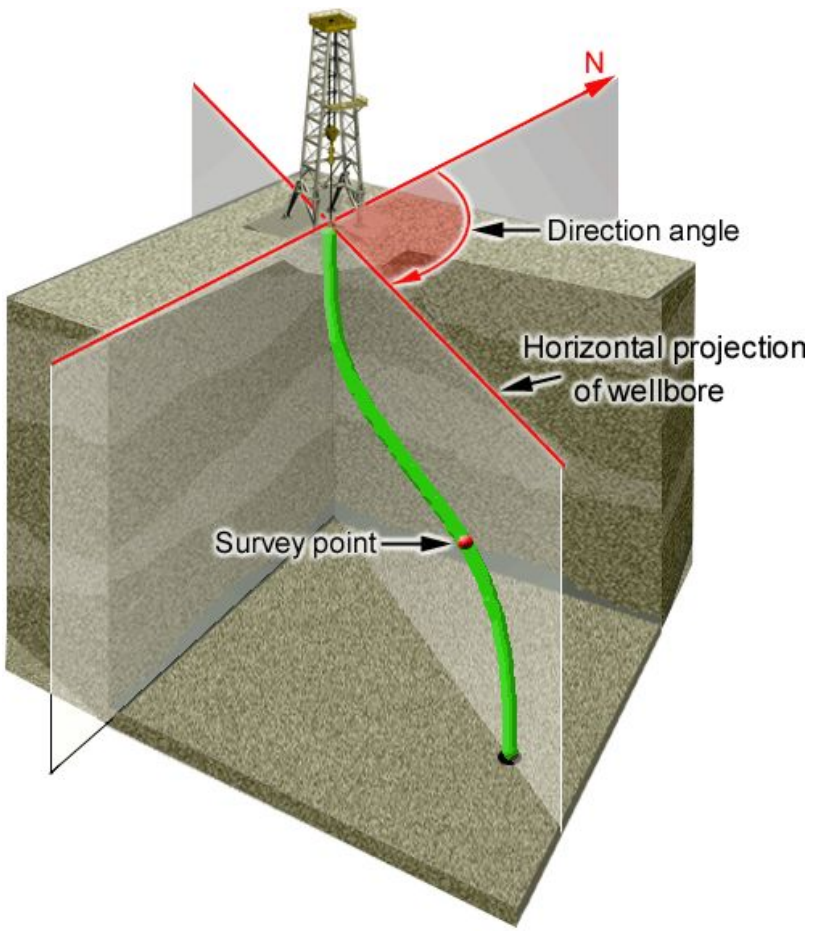
Азимут
Azimuth

- Азимут - угол между соответствующим севером и горизонтальной проекцией текущей точки замера

  Azimuth is the angle between North Reference and a horizontal projection of the current Survey position

- Для определения азимута в точке замера, инклинометр MWD должен измерить магнитное поле (это позволяет нам получить ориентир на север)

  To determine the azimuth of a survey point, the MWD tool must measure the Magnetic field (this allows us to get the North reference)

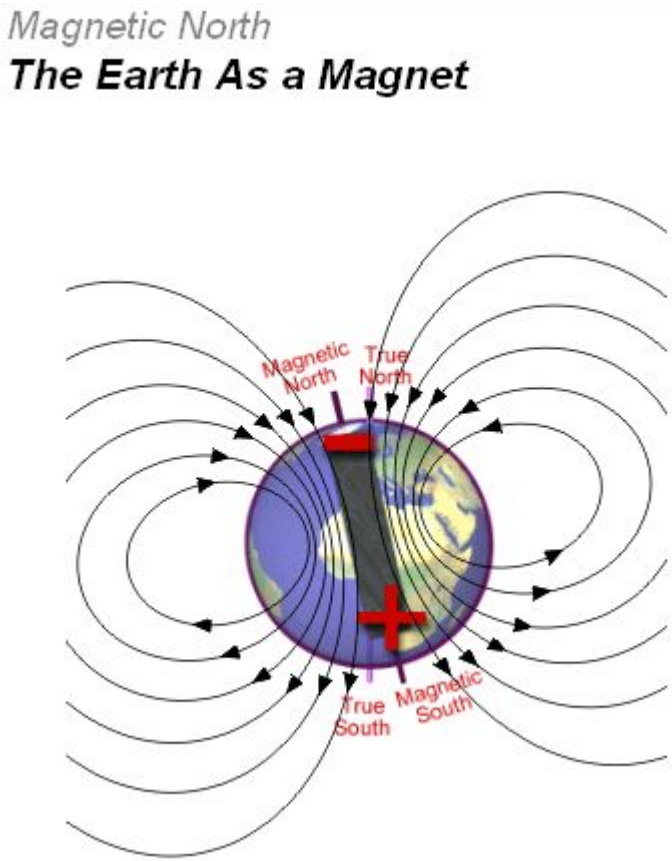


Schlumberger Confidential

Schlumberger

Азимут – магнитное поле Земли
Azimuth - Earth's Magnetic Field

- Исходит от полюсов
  It originates at the poles
- Имеет определенную силу и направление
  It has specific strength and direction
- Магнитный север медленно меняется
  Magnetic North is slowly changing
- Единица измерения - гамма
  Units of measurement are gammas
- 1 Tool H = 1 count
- 1 Tool H = 50 Gammas
- 1 NanoTesla = 1 Gamma



Schlumberger Confidential

Schlumberger

Азимут – инклинометры MWD - магнетометры

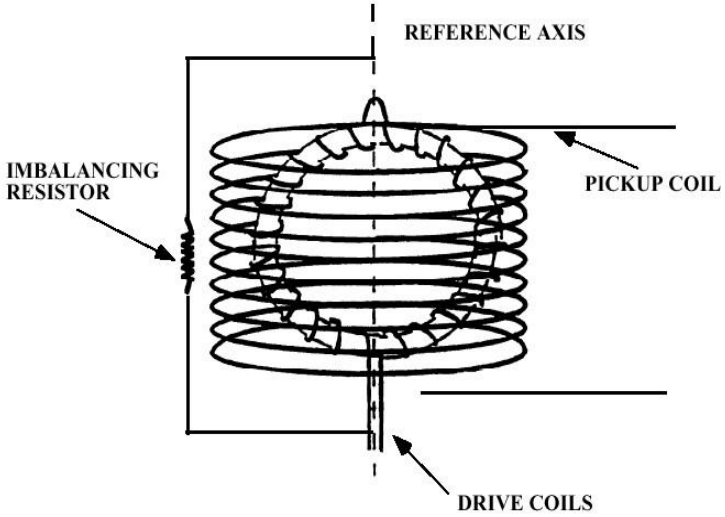
Azimuth - MWD Tools - Magnetometers

- Устройство, чувствительное к вектору магнитного поля Земли

  This device is sensitive to the Earth's Magnetic Field vector
- В пакете инклинометрии таких устройств 3

  We have 3 of these devices in a D&I package
- Датчики расположены под углом 90 градусов друг к другу

  They are arranged at 90 degrees to each other in a mutually orthogonal set.
- Hx, Hy and Hz



Schlumberger Confidential

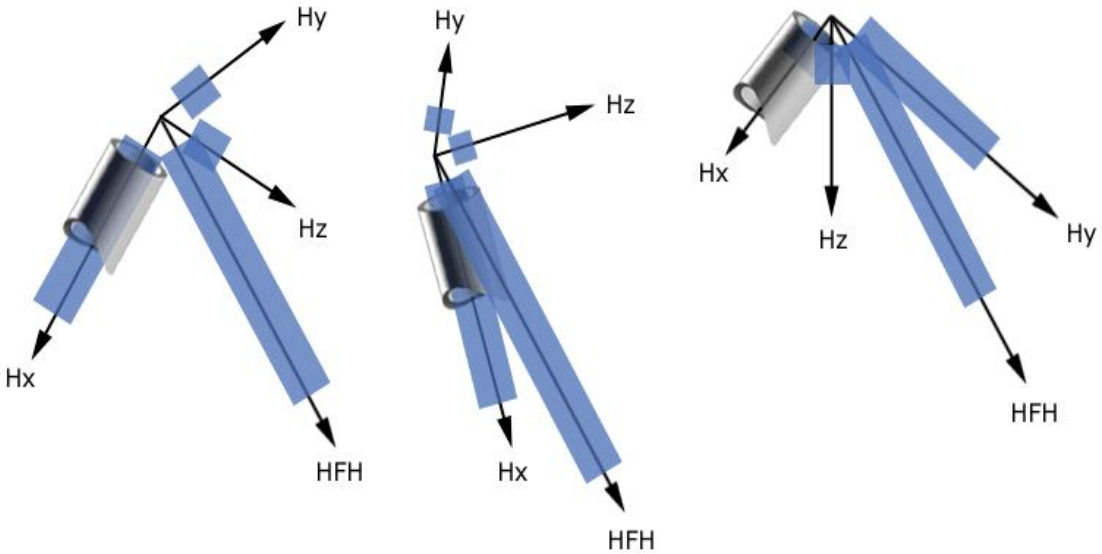
Schlumberger

Азимут – измерения магнетометрами

Azimuth - Magnetometer Measurements

- В независимости от положения прибора, HFH остается постоянным
  No matter what the tool orientation, HFH is stable
- HFH, вычисленный из показания прибора, должен быть близок по значению к значению, данному Geomag
  Таким образом этот параметр можно использовать как критерий для проверки качества измерения
  HFH as calculated from tool should be close to Geomag value. This can therefore be used as a Quality Control Measurement

$$HFH = \sqrt{Hx^2 + Hy^2 + Hz^2}$$



Schlumberger Confidential

Schlumberger

Азимут – вектор Th
Azimuth – Th Vector

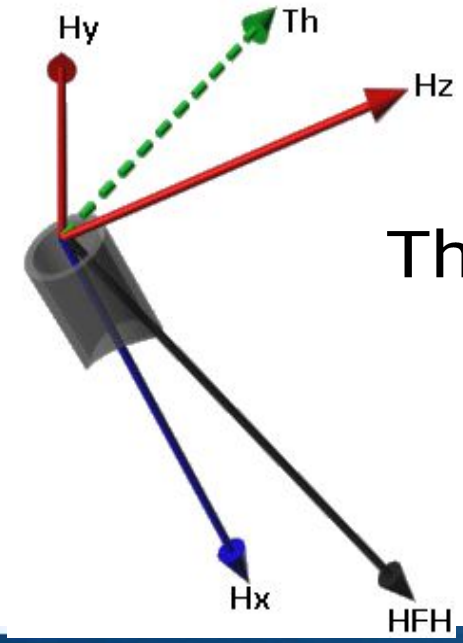
- Вектор Th - проекция HFH на плоскость Y-Z

  Vector Th is actually the projection of HFH onto the y-z plane

- В независимости от расположения прибора в пространстве, Th остается постоянной (Roll Test)

  Таким образом этот параметр можно использовать как критерий для проверки качества измерения

  No matter what the tool orientation Th is stable (Roll Test). During Roll Test it acts as a Quality Control Measurement



$$Th = \sqrt{Hy^2 + Hz^2}$$

Schlumberger Confidential

Schlumberger

Азимут – угол падения магнитного поля
Azimuth - Magnetic Dip Angle

- Угол между линиями потока магнитного поля и линией, касательной к поверхности земли

  Angle between Magnetic flux line and a line tangent to the Earths surface

- DIP ≅ 90°, ближе к полюсам

  DIP ≅ 0°, ближе к экватору

  DIP ≅ 90°, Close to Poles DIP ≅ 0° , Close to Equator

- Должен оставаться примерно постоянным для данной точки

  Should remain relatively constant at a given location

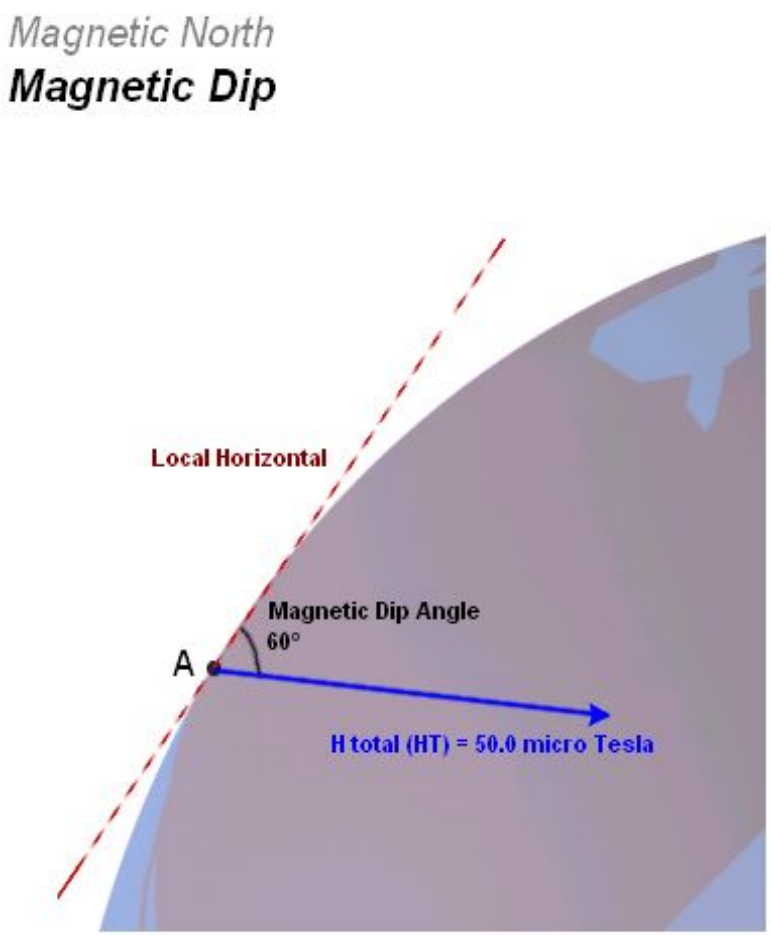
- Выше экватора DIP со знаком «+»

  Ниже экватора DIP со знаком «-»

  Применяется для проверки азимута

  Above Equator DIP = +ve below Equator DIP = -ve

  Can be used to QC Azimuth measurement

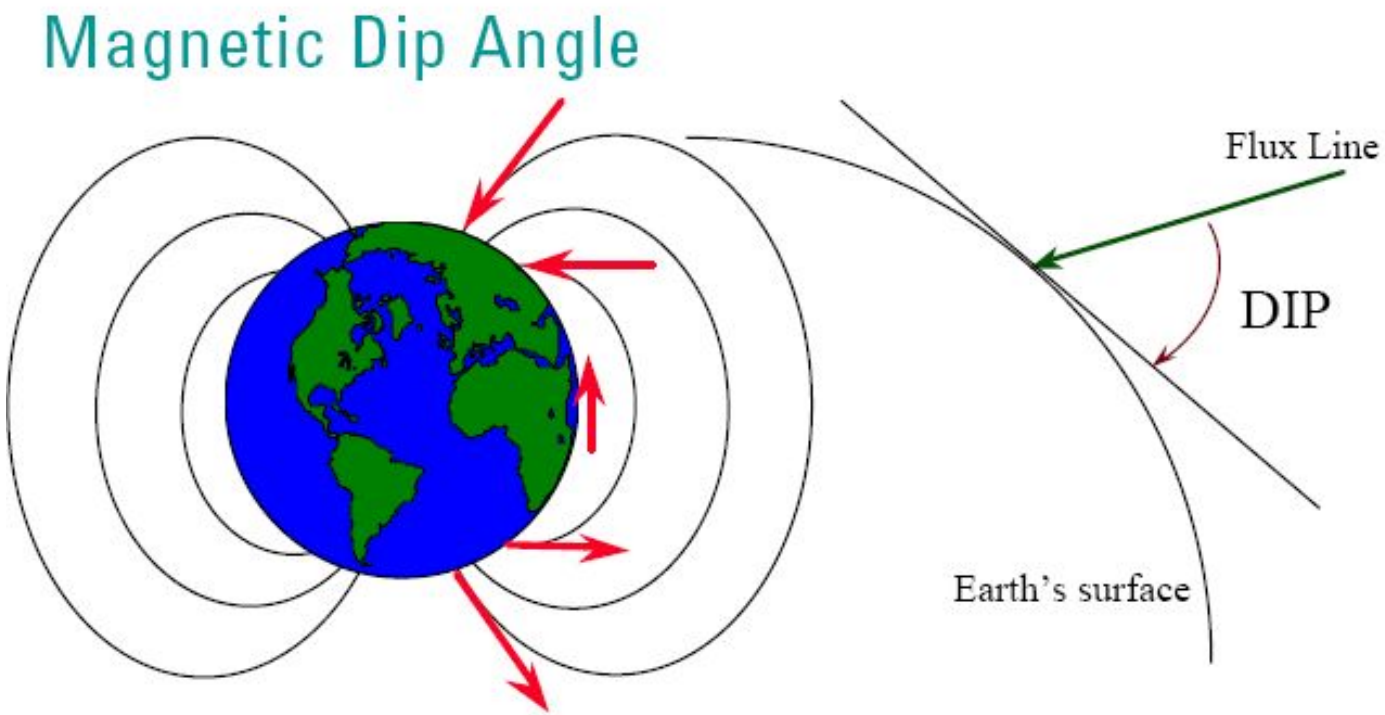


Schlumberger Confidential

Schlumberger

Азимут – угол падения магнитного поля

Azimuth - Magnetic Dip Angle



- The DIP angle is the angle between the fluxline and a line tangent to the Earth's surface

- Угол падения магнитного поля - это угол между линией потока магнитного поля и линией, касательной к поверхности земли

Schlumberger Confidential

Schlumberger

Азимут – зачем нужны акселерометры

Azimuth – need for accelerometers

Акселерометры также требуются для вычислений

We need accelerometers as well as magnetometers

- Простое измерение угла между точкой замера и севером неверно (синяя стрелка на рисунке)

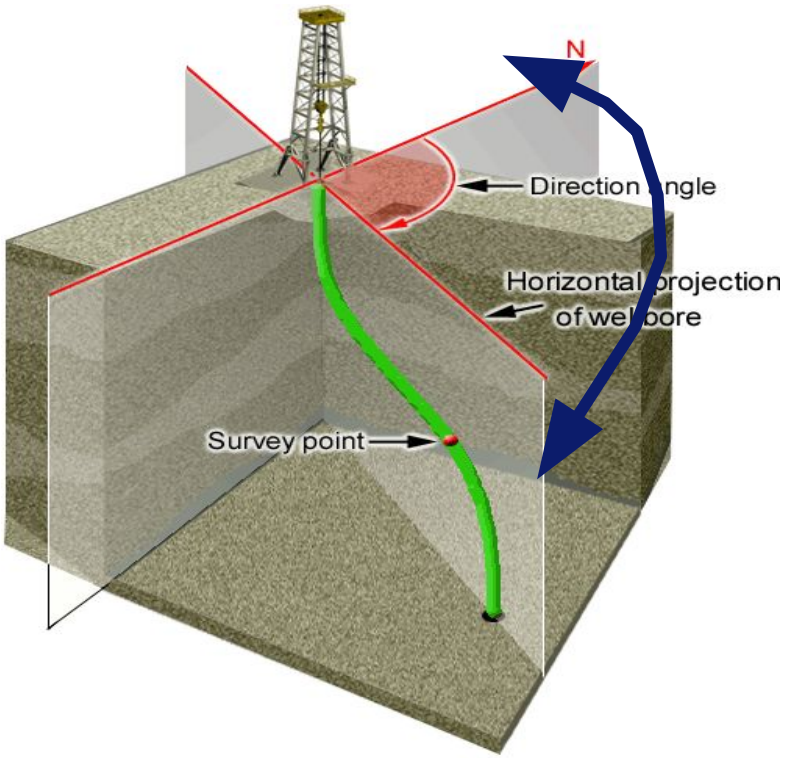
  If we simply measure from Survey Point to North – we get an incorrect measurement (see length of blue arrow)

- Точку замера нужно спроектировать на горизонтальную плоскость

  We must project the Survey Point onto the Horizontal Plane

- Акселерометры дают угол для проекции на горизонтальную плоскость

  Accelerometers give us a reference to Horizontal

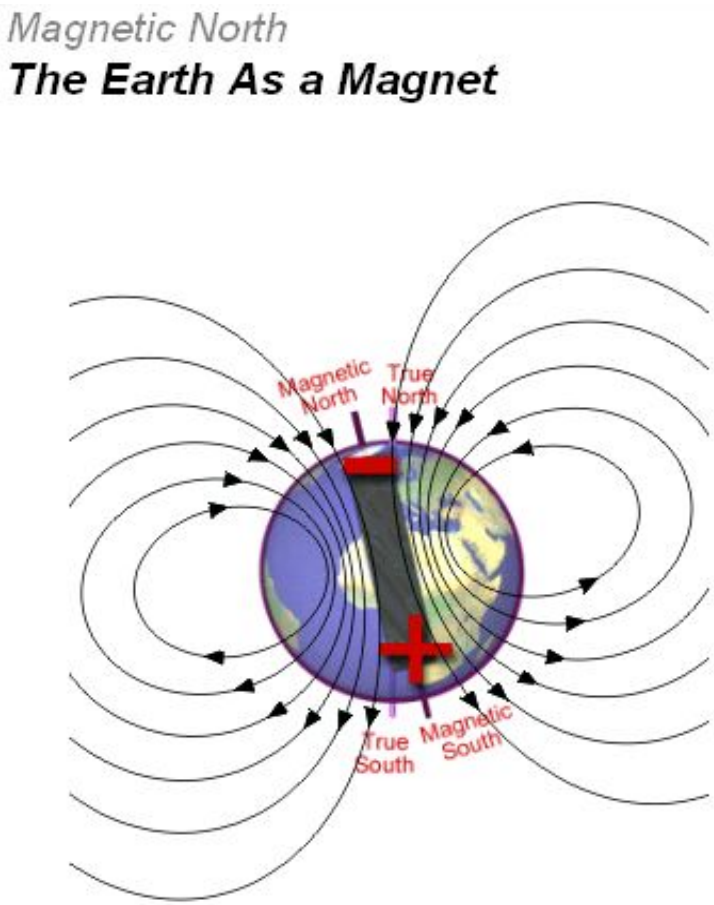


Schlumberger Confidential

Schlumberger

Поправки азимута
Corrections to Azimuth

- Азимут измеряется от магнитного севера
  Measured to Magnetic North
- После (в большинстве случаев) в IDEAL/Maxwell делается поправка на географический север в зависимости от требований заказчика
  Then (in most cases) corrected in IDEAL to either Geographic North or True North depending upon what the client wants
- **Необходимо точно знать, относительно какого севера измеряется азимут!**
  Be sure you know what you are measuring and referencing to!



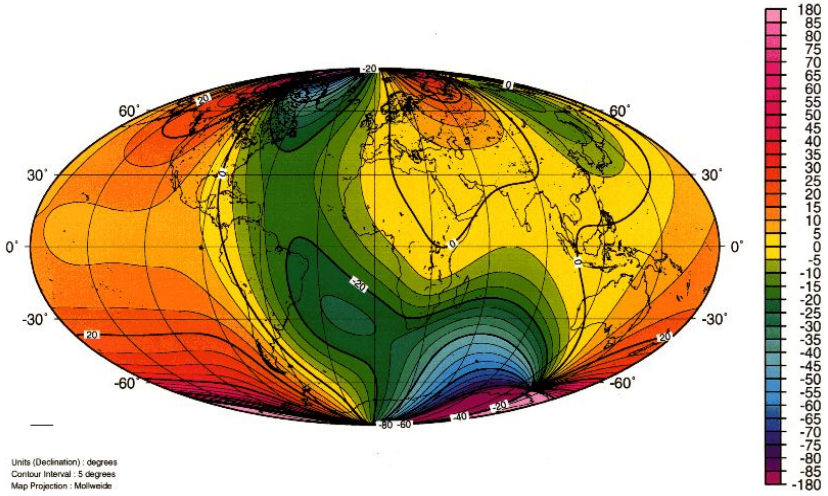
Schlumberger Confidential

Schlumberger

Поправки – карта угла падения BGGM

Corrections - BGGM Magnetic Declination Map

- Магнитное поле Земли постоянно изменяется
  Earth's magnetic field is constantly changing
- Британское геологическое общество постоянно вносит поправки в модель
  The British Geological Society constantly updates their model
- Направление и интенсивность магнитного поля можно подсчитать для заданной даты и местоположения на Земле
  At any given time and position on Earth the direction and intensity of the magnetic field can be calculated.



Schlumberger Confidential

Schlumberger

Поправки – обновления модели BGGM

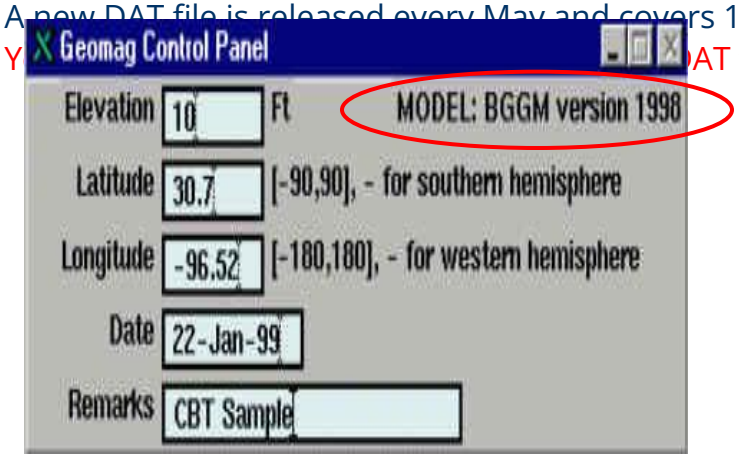
Corrections - BGGM Updates

- Британское геологическое общество вносит поправки в модель каждый год
  British Geological Society updates the model every year
- Шлюмберже платит за лицензию на право использования модели
  Schlumberger pays a licensing fee to use the model
- Новый файл DAT или патч выпускается в каждом мае и действует 18 месяцев

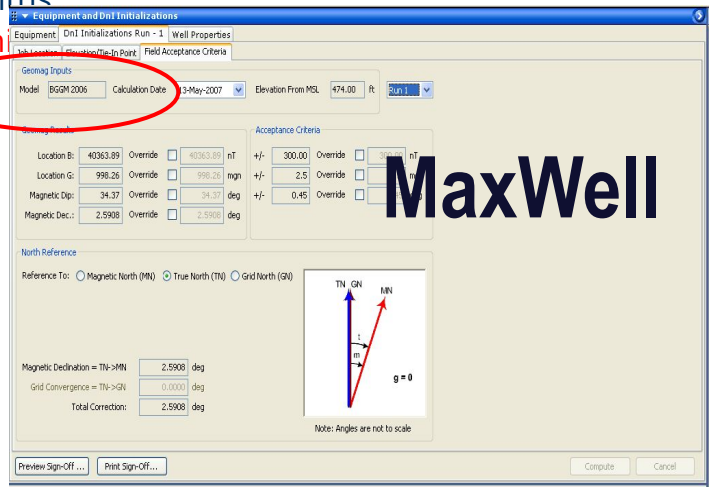
  Необходимо быть уверенным в том, что используется правильный файл DAT/патч, который можно найти в InTouch

  A new DAT file is released every May and covers 18 months

  Y AT file wh



IDEAL



MaxWell

Schlumberger Confidential

Schlumberger

Искажения магнитного поля
Magnetic Field Distortion

- Искажения магнитного поля Земли
  Distortion of Earths Magnetic Field
  - Временные поля, возникающие на Солнце
    Transitory field generated outside the Earth - the Sun
  - Изменения, происходящие на Земле, примерно 15 гамма в год – незначительный эффект
    Secular variations of approximately 15 gammas per year - a minor effect
  - Дневные колебания солнечной активности – примерно 30-40 гамма в день – незначительный эффект
    Diurnal solar variations on the order of 30 to 40 gammas per day - a minor effect
  - Циклические «одиннадцатилетние» изменения – незначительный эффект
    The cyclical “eleven years” variation - a minor effect
  - Магнитные бури достигающие нескольких сот гамма – значительный эффект
    Magnetic storms which may reach several hundred gammas - a major effect
  - Эффект сильнее проявляется на полюсах
    The effect very pronounced at the poles

Schlumberger Confidential

Магнитное склонение
Magnetic Declination

- Магнитное склонение – это угол между географическим и магнитным севером, измеряемый от географического севера

  Magnetic Declination is the angle between True North and Magnetic North as measured from True North

- Зависит от местоположения и изменяется со временем

  Depends on location and varies with time

- Вычисляется с помощью Geomag в IDEAL/Maxwell или Drilling Office

  Calculated using Geomag in IDEAL* or Drilling Office

Магнитное склонение на западе = «-»

Магнитное склонение на востоке = «+»

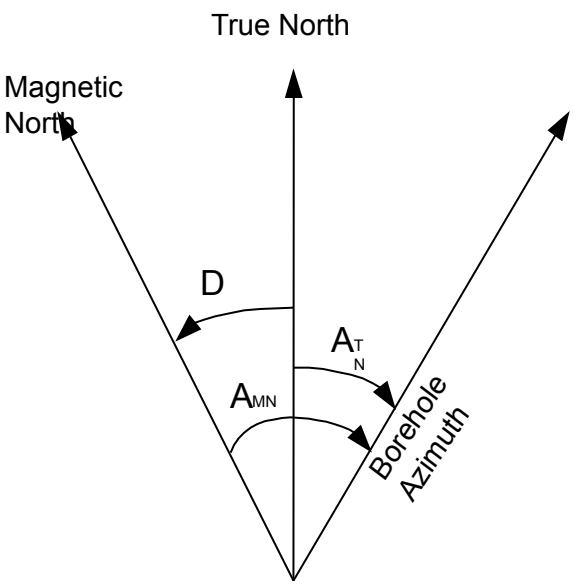
Declination West = -ve

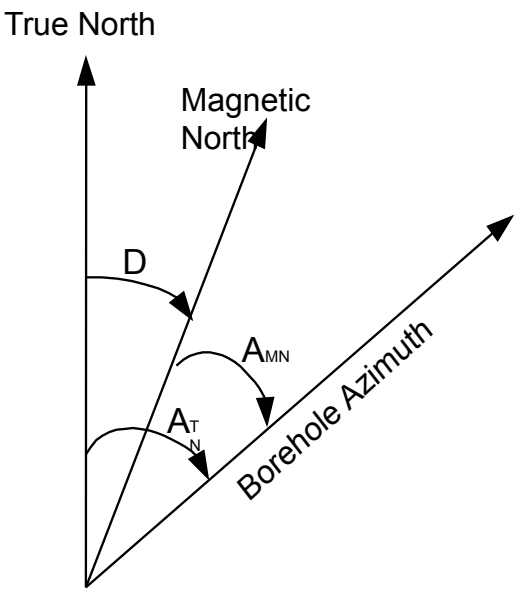
Declination East = +ve

Schlumberger Confidential

Schlumberger

Применение магнитного склонения
Application of Magnetic Declination





True North Azimuth (ATn) = Magnetic Azimuth(AMn) **+** Magnetic Declination(D)

Schlumberger Confidential

Schlumberger

Упражнение по магнитному склонению
Magnetic Declination Practical

Чему равен географический азимут?

What are the True North Azimuths?

1. Mag Dec. = 2.5°E
   MWD Az. = 90°

2. Mag Dec. = -1.7°
   MWD Az. = 195°

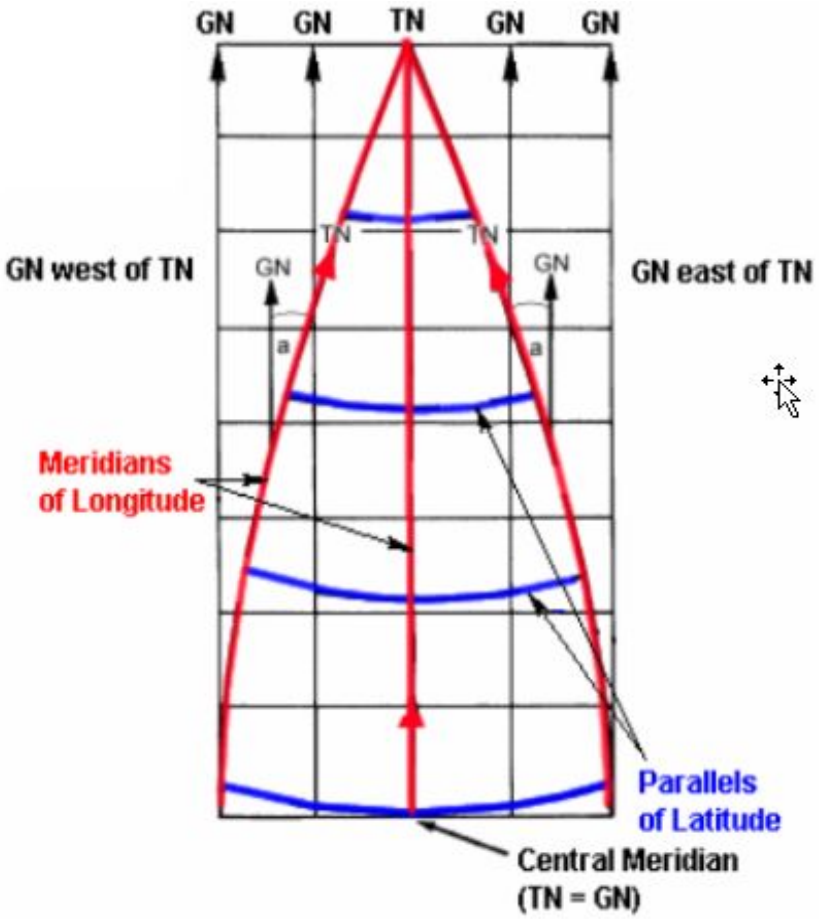
3. Mag Dec. = 6.7°W
   Gyro Az. = 265°

Schlumberger Confidential

Schlumberger

Конвергенция – повторение (1)
Convergence Refresher (1)

- Линии координатной сетки, указывающие на север, параллельны
  Grid North lines are parallel
- Линии, указывающие на географический север сходятся на центральном меридиане
  True North lines converge on the Central Meridian
- Координатный и географический север в UTM совпадают только на центральном меридиане и экваторе
  Grid North and True North are only identical along UTM zone Central Meridian and the equator

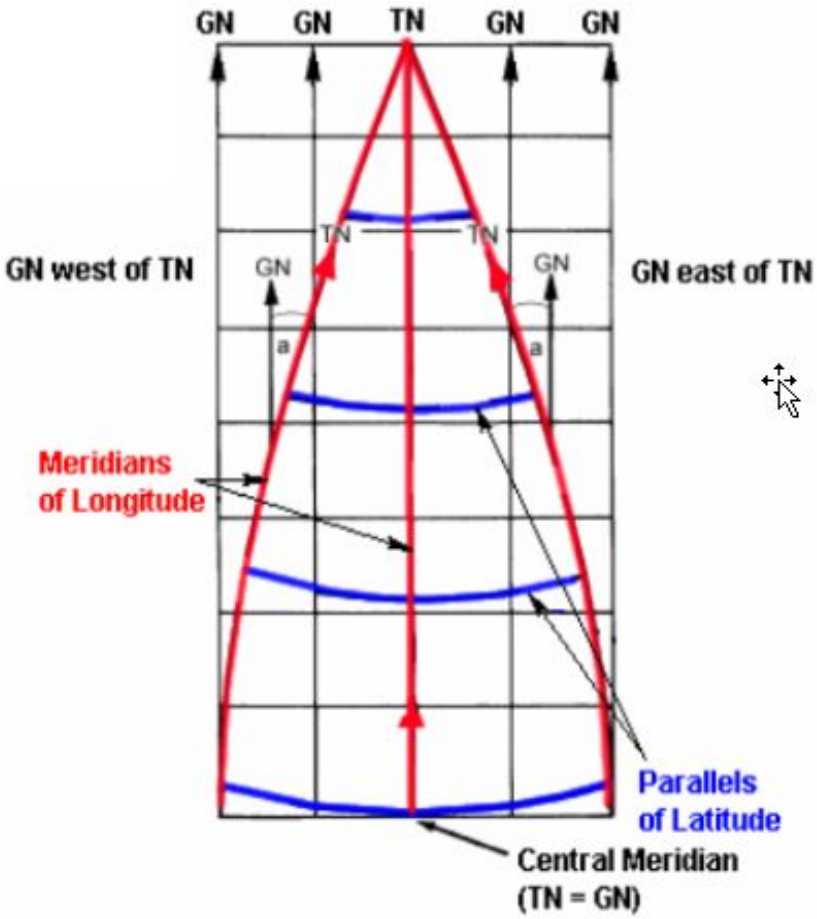


Schlumberger Confidential

Schlumberger

Конвергенция – повторение (2)
Convergence Refresher (2)

- Угол конвергенции
  Grid Convergence
  - Угол между географическим и координатным севером, считая от географического
    Angle from True North (TN) to Grid North (GN)
  - Имеет знак «+» к востоку
    +ve to the East
  - Имеет знак «-» к западу
    -ve to the West



Schlumberger Confidential

Schlumberger

Поправка координатного севера
Correction to Grid Azimuth

- Конвергенция

  Grid Convergence (Grid Con)

  - Применяется только, если азимут измеряется от координатного севера

    ONLY use this angle if Surveys are to be referenced to Grid North

  - Конвергенция даст поправку географического севера на координатный

    Correcting for Grid Con will correct True North to Grid North

  - Измеряется от географического севера к координатному

    Measured from True North to Grid North

  - Конвергенция к западу = «-»

    Grid Convergence West = -ve

  - Конвергенция к востоку = «+»

    Grid Convergence East = +ve

Grid Azimuth = True North Azimuth - Grid Con.

Schlumberger Confidential

Schlumberger

Упражнение по конвергенции
Grid Convergence Practical

Чему равен координатный азимут?

What's are the Grid North Azimuths?

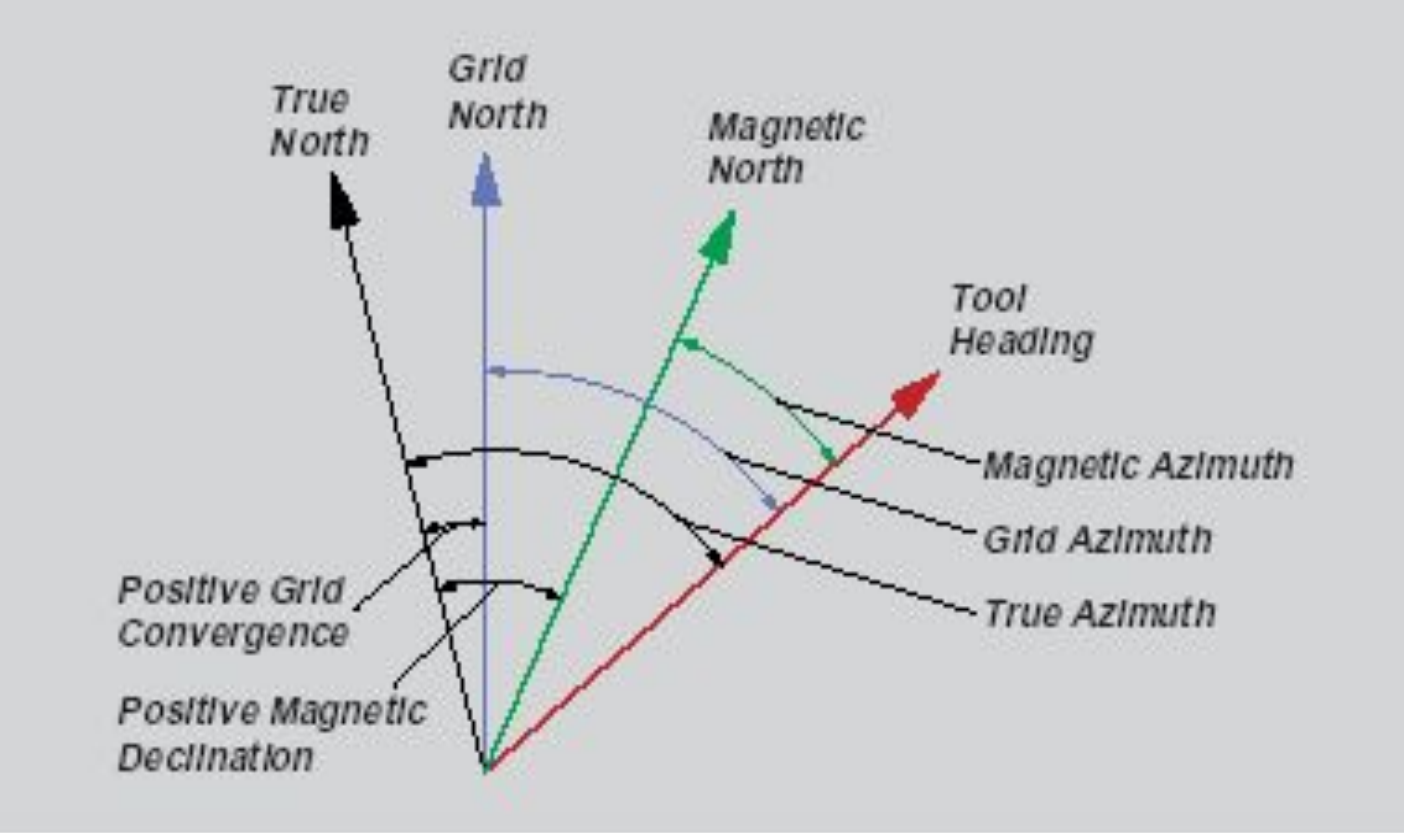
1. Grid Con. = 2.5°E
   TN Az. = 90°

2. Grid Con. = -1.7°
   TN Az. = 195°

Schlumberger Confidential

Schlumberger

Все коррекции вместе
Putting It All Together



Grid Azimuth = Magnetic Azimuth + Magnetic Declination - Grid Convergence

Schlumberger Confidential

Schlumberger

Упражнение по полной коррекции
Total Correction Practical

Заполните недостающие значения в таблице
Fill in the missing numbers in this table

North Reference used by Client	Magnetic Declination	Grid Convergence	Total correction used by IDEAL
Grid North	3.23	-1.14	
True North	-5.72	1.21	
Magnetic North	-6.18	2.26	
Grid North	6.32		4.53
True North		-2.89	1.6

Schlumberger Confidential

Упражнение по полной коррекции

Total Correction Practical

Заполните недостающие значения в таблице

Fill in the missing numbers in this table

North Reference used by Client	Magnetic Declination	Grid Convergence	Total correction used by IDEAL
Grid North	3.23	-1.14	4.37
True North	-5.72	1.21	-5.72
Magnetic North	-6.18	2.26	0
Grid North	6.32	1.79	4.53
True North	1.6	-2.89	1.6

Schlumberger Confidential

Schlumberger

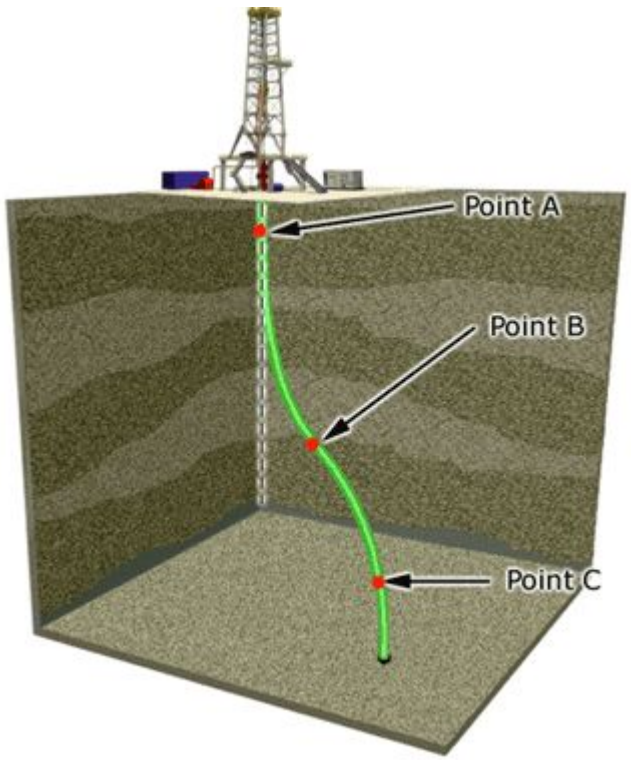
3. Каким образом вычисляется траектория между замерами?

How do we calculate the well path between Surveys?

Schlumberger Confidential

Расчет замеров
Survey Calculations

- Вычисления начинаются с известной точки в пространстве, называемой «точкой привязки»
  We start at a known point in space, which is called the “tie in point” (TIP).
- Точка привязки быть на поверхности или в обговоренном месте на траектории скважины
  The TIP can be the surface location or an agreed point in the wellbore.
- Далее по вычислениям замеров выстраивается траектория скважины
  Survey calculations then compute a well profile.



Schlumberger Confidential

Schlumberger

Точка привязки
Tie in Point (TIP)

- Точка привязки является точкой отсчета для всех последующих вычислений замеров

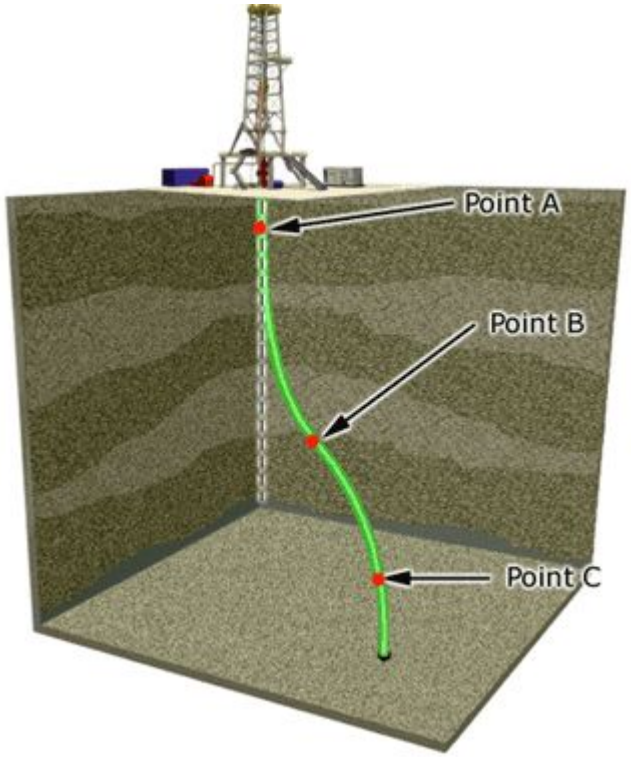
  The TIP is the beginning point for all subsequent survey calculations

- Точку привязки задает представитель заказчика

  The client representative on site will tell you what to use as the TIP

- Ее необходимо ввести в программу в начале работы

  Must be entered into the survey program at beginning of job



Schlumberger Confidential

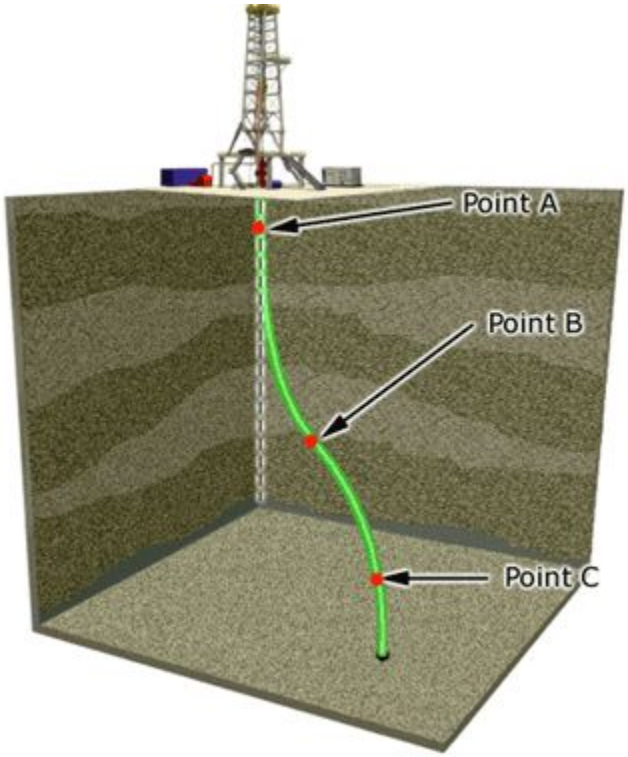
Schlumberger

Методы расчета замеров
Survey Calculation Methods

- Замер состоит только из глубины по стволу, зенитного угла и азимута. Необходимо выполнить вычисления для получения вертикальной глубины, вертикальной секции, северного и восточного удалений. Существует 4 метода

  A survey is just Measured Depth, Inclination and Azimuth. We must perform a calculation to obtain TVD, Vertical Section, Northings and Eastings. There are 4 different methods used:

1. Тангенциальный
   Tangential
2. Среднего угла
   Average Angle
3. Радиуса кривизны
   Radius of Curvature
4. Радиуса минимальной кривизны (применяемый в IDEAL)
   Minimum Curvature (used by IDEAL)



Schlumberger Confidential

Schlumberger

Методы расчета замеров - тангенциальный

Survey Calculation Methods - Tangential

- Предполагает, что ствол скважины – прямая линия с зенитным углом и азимутом текущего замера между точками последнего и текущего замера

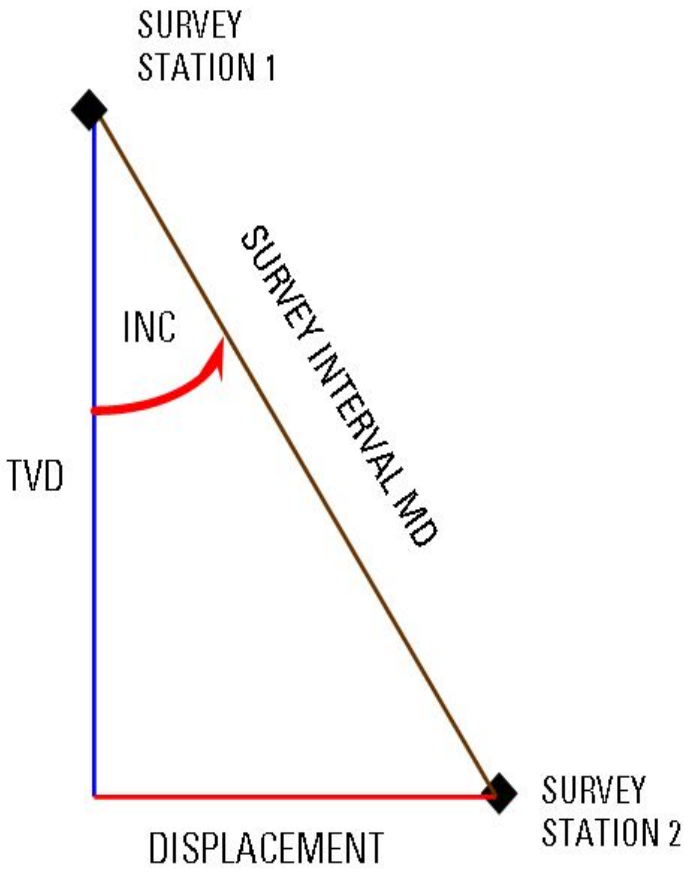
  Assumes that the borehole is a straight line with the inclination and azimuth of the current survey station from the last survey station to the current one

- По зенитному углу:

  Based on inclination:

$$\Delta TVD = \Delta MD \times \cos(inc)$$

$$\Delta Displacement = \Delta MD \times \sin(inc)$$



Schlumberger Confidential

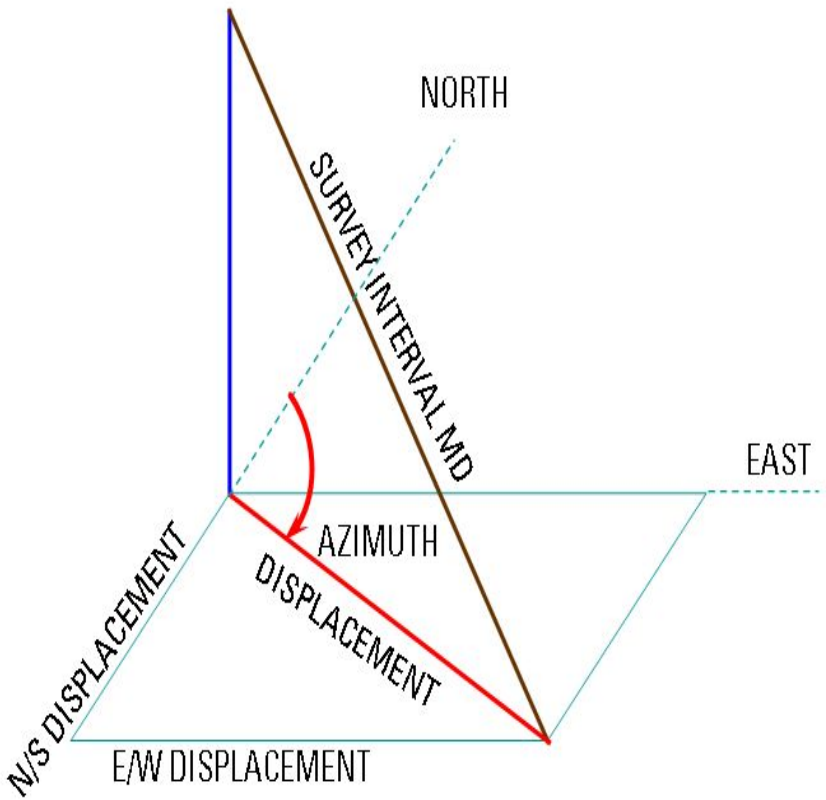
Schlumberger

Методы расчета замеров - тангенциальный
Survey Calculation Methods - Tangential

- По азимуту
  Based on azimuth

$$\Delta North = Displacement \times \cos(az)$$

$$\Delta East = Displacement \times \sin(az)$$



Schlumberger Confidential

Schlumberger

Методы расчета замеров – среднего угла

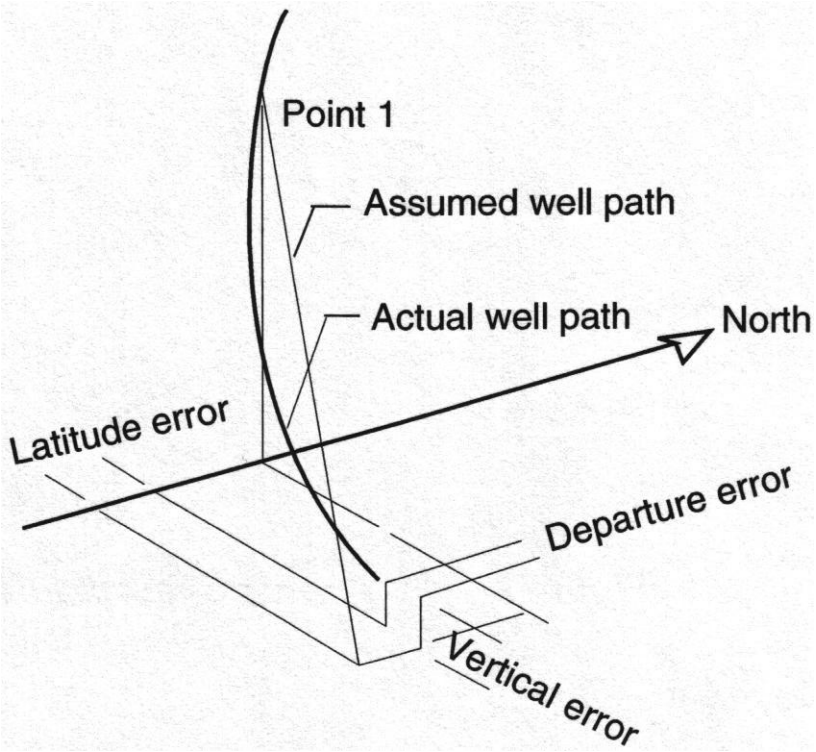
Survey Calculation Methods – Average Angle

- Предполагает, что ствол скважины прямая линия между текущей и последней точкой. Зенитный угол и азимут усредняются между этими двумя точками.

  Assumes that the borehole is a straight line between the current and the previous survey station. The inclination and azimuth are averaged between the current and the previous station.

- Точен на коротких интервалах между замерами и прост для расчетов вручную

  Accurate over short survey intervals & easily calculated by hand



Schlumberger Confidential

Schlumberger

Методы расчета замеров – среднего угла

Survey Calculation Methods – Average Angle

- Δ N/S= ΔMD sin(I avg) cos(A avg)
- Δ E/W= ΔMD sin(I avg) sin(A avg)
- Δ TVD= ΔMD cos (I avg)
- Δ Displacement = ΔMD sin (I avg)

$$I_{avg} = \frac{I_1 + I_2}{2}$$

$$A_{avg} = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

Schlumberger Confidential

Schlumberger

Методы расчета замеров – радиус кривизны

Survey Calculation Methods – Radius of Curvature

- Предполагает, что ствол скважины гладкая кривая, которая описывает поверхность цилиндра

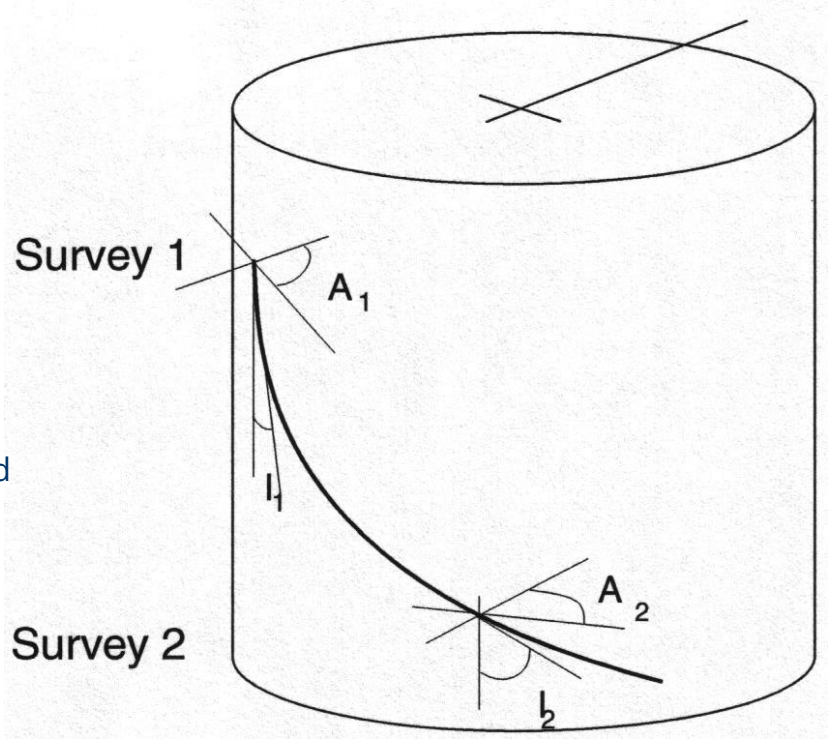
  Assumes that the well path is a smooth curve that can be fitted on to the surface of a cylinder

- Кривизна скважины имеет определенный радиус как на вертикальной, так и горизонтальной плоскости

  The well is curved at a specific radius in both the vertical and the horizontal plane. The radius is a function of DLS.

- Точнее на длинных интервалах между замерами и точнее описывает изменения азимута

  This method is more accurate on long survey intervals and is able to handle higher changes



Schlumberger Confidential

Schlumberger

Методы расчета замеров – радиус минимальной кривизны
Survey Calculation Methods – Minimum Curvature

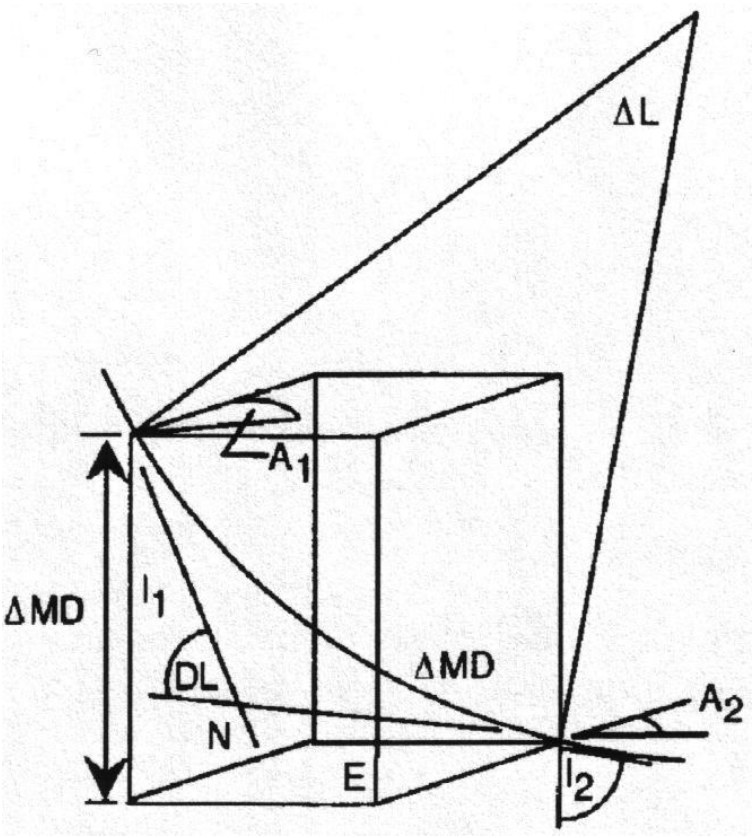
- Предполагает, что ствол скважины кривая, которая описывает поверхность сферы определенного радиуса

  Assumes that the well path is a smooth curve that can be fitted on to the surface of a sphere of a particular radius.
- По методике схож с методом радиуса кривизны

  Uses a method similar to radius of curvature
- Является стандартом промышленности

  Is the industry standard
- Применяется в IDEAL

  Used in IDEAL



Schlumberger Confidential

Schlumberger

Панель замеров – результаты расчетов

Survey Panel – Outputs of Survey Calculations

Survey Manager Control

ID	MD (m)	Incl (deg)	Azim (deg)	TVD (m)	N/-S (m)	E/-W (m)	DLS (1/30 deg/m)	V Sect (m)	Course (m)	Date/Time
32	3207.18	87.48	287.54	1783.20	521.82	-1566.48	0.11	1651.06	29.11	17:21:26 14-May
33	3236.09	87.59	287.20	1784.45	530.44	-1594.05	0.37	1679.94	28.91	17:21:26 14-May
34	3265.29	87.42	287.07	1785.72	539.04	-1621.92	0.22	1709.11	29.20	17:21:26 14-May
35	3294.08	87.42	287.09	1787.01	547.48	-1649.42	0.02	1737.87	28.79	17:21:26 14-May
36	3323.47	87.74	287.03	1788.25	556.10	-1677.49	0.33	1767.23	29.39	17:21:26 14-May
37	3352.52	89.71	286.61	1788.90	564.50	-1705.29	2.08	1796.26	29.05	17:21:26 14-May
38	3379.23	89.74	286.68	1789.03	572.15	-1730.88	0.09	1822.97	26.71	17:21:26 14-May
39	3407.60	89.97	286.23	1789.10	580.19	-1758.08	0.53	1851.33	28.37	17:21:26 14-May
40	3436.77	90.40	286.15	1789.01	588.32	-1786.10	0.45	1880.48	29.17	17:21:26 14-May
46	3466.42	90.63	285.66	1788.74	596.45	-1814.61	0.55	1910.11	29.65	23:38:40 18-Apr-
49	3494.45	91.17	287.45	1788.30	604.43	-1841.47	2.00	1938.13	28.03	02:30:08 19-Apr-
51	3524.05	89.31	287.68	1788.18	613.36	-1869.69	1.90	1967.72	29.60	05:16:57 19-Apr-
53	3553.23	89.40	288.23	1788.50	622.36	-1897.45	0.57	1996.90	29.18	07:22:08 19-Apr-
71	3582.54	89.43	288.41	1788.80	631.57	-1925.27	0.19	2026.21	29.31	10:00:53 19-Apr-

Open (2) | Accepted (5) | Rejected (33) | All (40) | Long/Uncorrected: Run 2 (2)

Run 2 | Use Online DMAG | Depth Cutoff m

ID	MD (m)	Incl (deg)	Azim (deg)	Total G (mgn)	Total B (nT)	Mag Dip (deg)	Raw MD (m)	Raw Incl (deg)	Gx (mgn)	Gy (mgn)	Gz (mgn)	
79	3613.04	88.87	----	909.35	44755.97	0.42	3613.04	88.87	17.99	97.93	903.89	1
80	3648.77	86.72	----	384.36	28400.61	21.14	3648.77	86.72	21.99	376.24	75.45	1

Accept | Reject

Good	MD (m)	Incl (deg)	Azim (deg)	Total G (mgn)	Total B (nT)	Mag Dip (deg)	Corr Index	Gx (mgn)	Gy (mgn)
Current	3611.32	89.02	289.03	998.28	50396.52	46.59	0	16.99	251.83
Reference	3582.54	89.43	288.41	998.69	50171.83	46.77			
|Delta|	28.78	0.41	0.62	0.41	224.69	0.18			
Criteria	> 24.38	< 4.00	< 5.00	< 2.50	< 300.00	< 0.45			

Schlumberger Confidential

Schlumberger

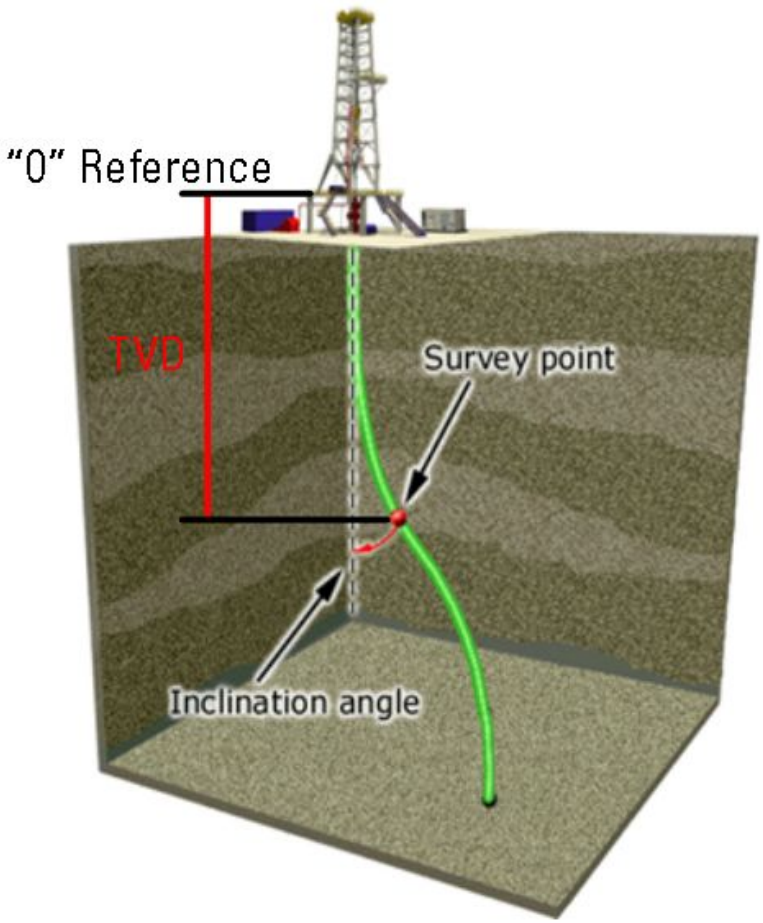
Вертикальная глубина
True Vertical Depth

- Для глубины по вертикали задается точка отсчета – обычно это роторный стол

  Vertical Depth from the depth reference – normally the rig floor while drilling

- Геолог может также попросить посчитать вертикальную глубину относительно других точек – уровня мирового океана и т.д.

  Geologist may ask for TVD referenced to Field Vertical Reference – MSL, LAT, etc.



Schlumberger Confidential

Schlumberger

Отход
Displacement

- Расстояния на север или восток от точки на поверхности

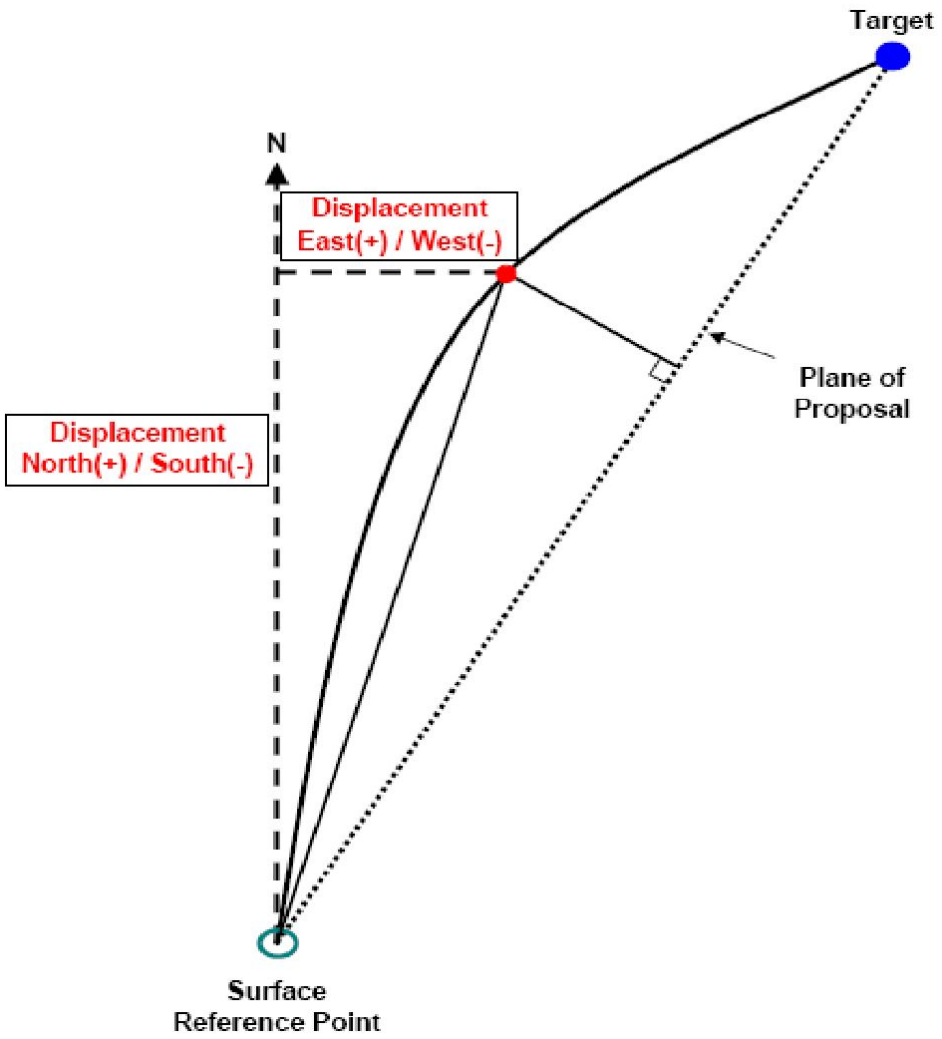
  The distance N/S or E/W a point is located from the Surface Reference Point

- Имеет знак «+» в направлениях на север и восток

  Positive North & East

- Имеет знак «-» в направлениях на юг и запад

  Negative South & West



Schlumberger Confidential

Schlumberger

Угол сближения
Closure Angle

- Угол сближения – это угол между направлением на север и линией, соединяющей точку отсчета с точкой замера

  The closure angle is the Angle between the North reference and a line between the reference point and the survey station.

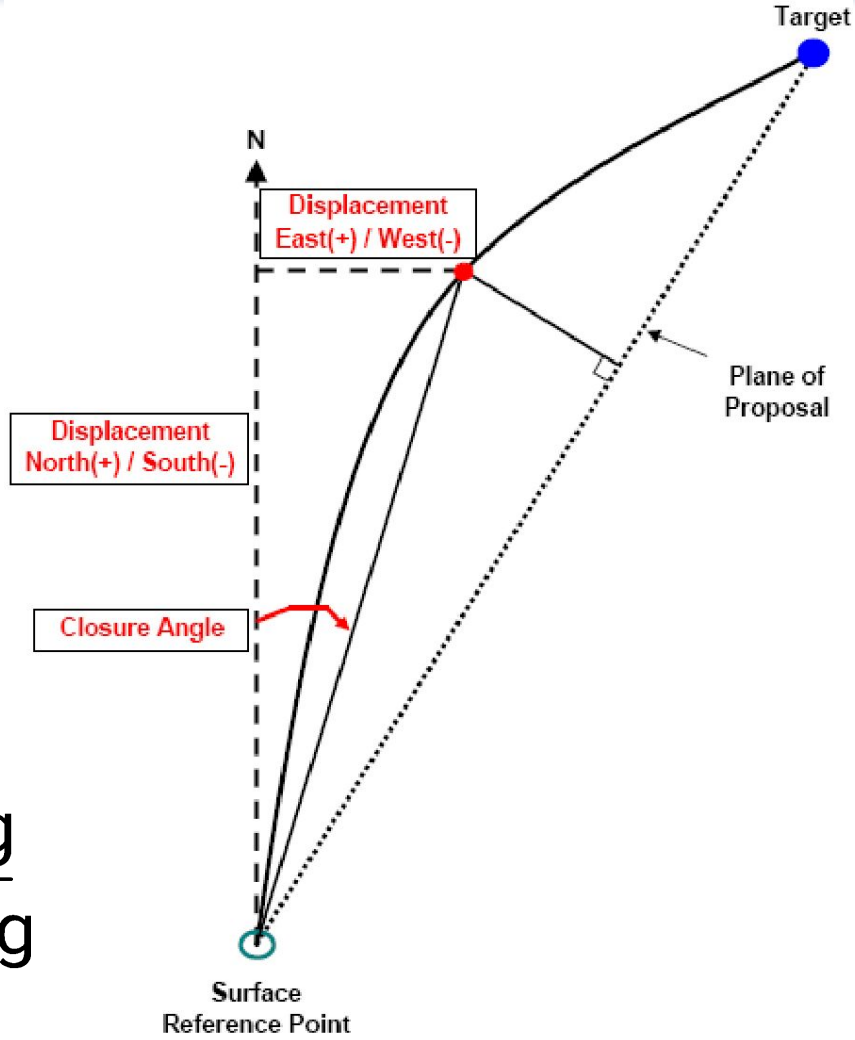
  – Имеет знак «+» к северу и востоку

    Positive North & East

  – Имеет знак «-» к югу и западу

    Negative South & West

$$\text{ClosureAngle} \cong \tan^{-1}\frac{\Delta\text{Easting}}{\Delta\text{Northing}}$$



Schlumberger Confidential

Schlumberger

Плоскость проекции
Plane of Proposal

Нужна для нанесения траектории на план скважины

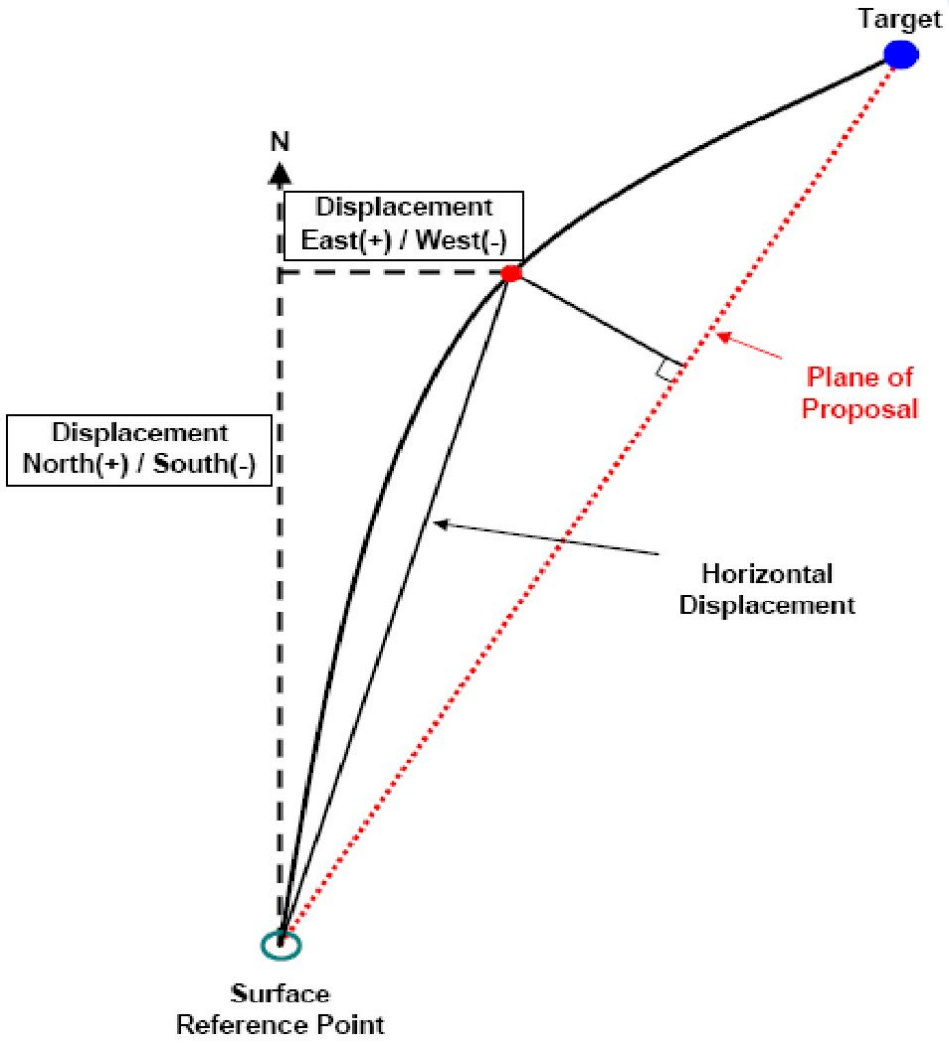
Used to plot well path on Wall Plot:

- Любую точку скважины можно спроецировать на плоскость

  Any point on the well can be projected on to the plane

- Плоскость проекции также иногда называют азимутом вертикальной секции

  Plane of Proposal is also known as Vertical Section Azimuth



Schlumberger Confidential

Schlumberger

Секция цели
Target Section

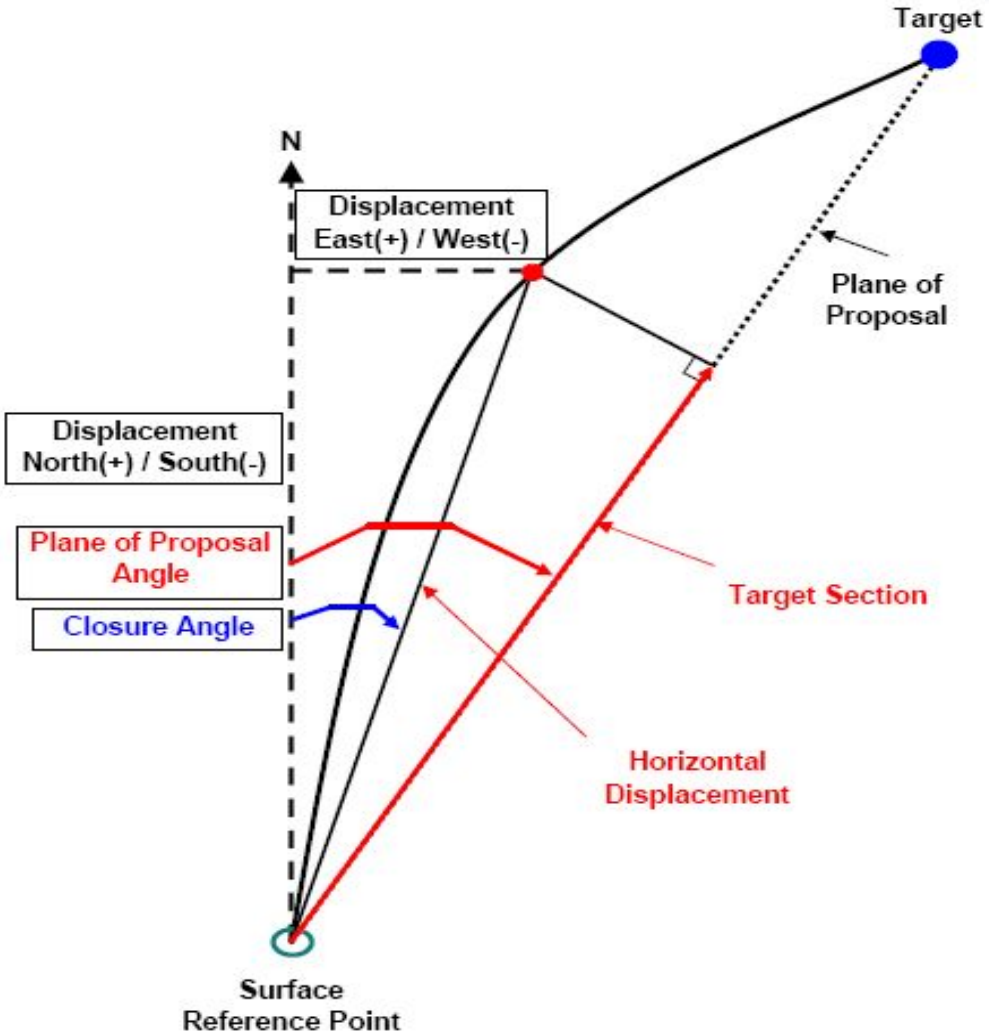
- Секция цели – это проекция точки замера на плоскость проекции

  Target section is the projection of the survey point onto the Plane of Proposal

- Также иногда называют **вертикальной секцией**

  Also known as **Vertical Section**

- Target section = HD*cos(Proposal angle closure angle)



Schlumberger Confidential

Schlumberger

Интенсивность
Dog Leg Severity

- Интенсивность – это способ описать, насколько траектория прямая или искривленная
  The dog leg severity DLS is a way to describe how straight or how curved a borehole is.
- Скорость изменения зенитного угла и азимута
  Rate of change of inclination & azimuth
- Измеряется в градусах на определенное расстояние – обычно 30 м или 100 футов
  Measured in degrees for a specific distance – typically 30m or 100ft
- Математическая функция, зависящая от расчета замеров
  Mathematical function that is dependant on type of survey calculation

  Например:
  For example:
  - 0° DLS = straight hole (прямая скважина)
  - 3° DLS = curved hole (искривленная скважина)
  - 6° DLS = highly curved hole (сильно искривленная скважина)

Schlumberger Confidential

Schlumberger

Точность инклинометрии
Survey Accuracy

- Таким образом все перечисленные параметры получаются путем ВЫЧИСЛЕНИЙ, а не фактическими измерениям

  All of these variables are therefore CALCULATIONS and are not actual measurements

- Любая ошибка в измерениях или в методе вычисления отражается на расчете местоположения

  Any errors made in the survey measurement or in the calculation method are therefore transferred to the position calculations.

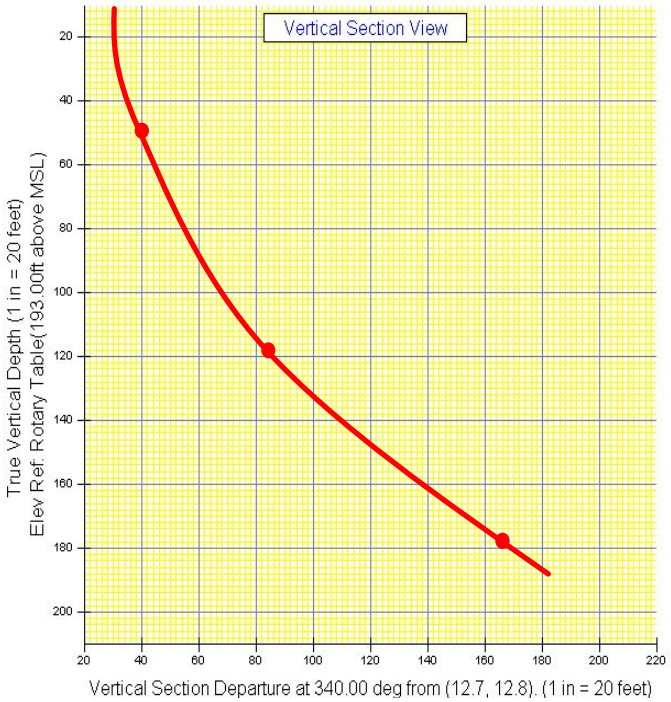
- Результаты расчетов используются для нанесения текущего положения траектории на план скважины для контроля курса скважины по направлению к цели

  The numbers generated from the calculations are used to plot the current position of the well on the Wall Plot to make sure that the well is on course to hit the target.

Schlumberger Confidential

План скважины – панель замеров - нанесение точек

Wall Plots - Survey Panel - Plotting



MD	Inc	AZ	TVD	VS	North	East
50	30	290	49	40	-40	-100
130	45	300	118	84	-14	-160
220	55	310	178	166	40	-225

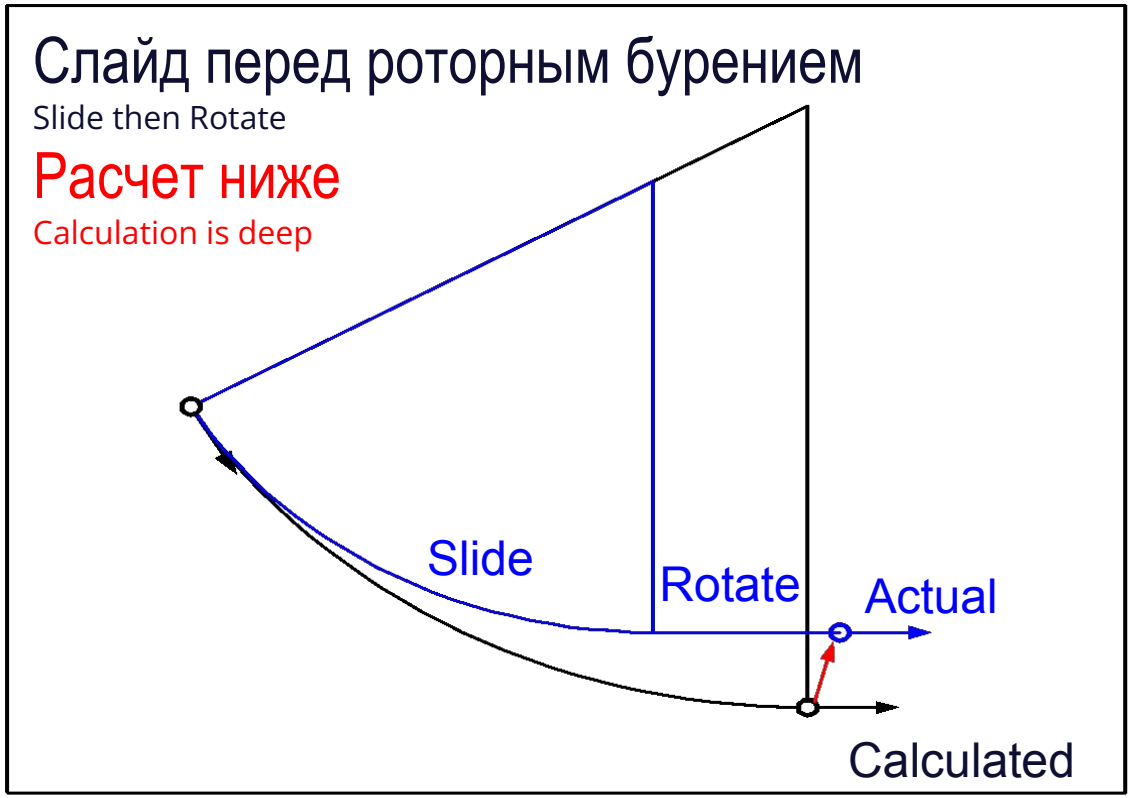
Schlumberger Confidential

Schlumberger

Влияние места и времени проведения замеров
Effect of Surveying Spacing & Timing

- Расположение слайд / роторное бурение

Slide / Rotate Spacing



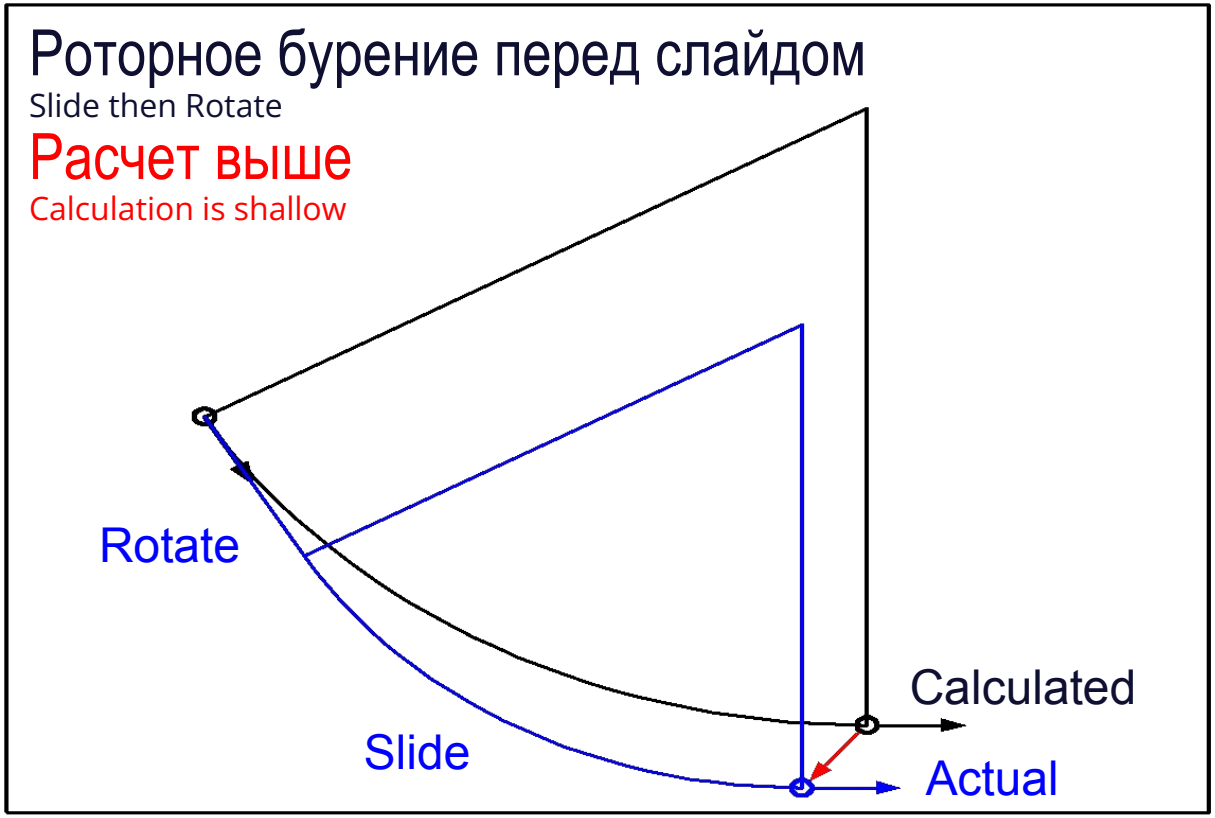
Schlumberger Confidential

Schlumberger

Влияние места и времени проведения замеров
Effect of Surveying Spacing & Timing

- Расположение слайд / роторное бурение

Slide / Rotate Spacing



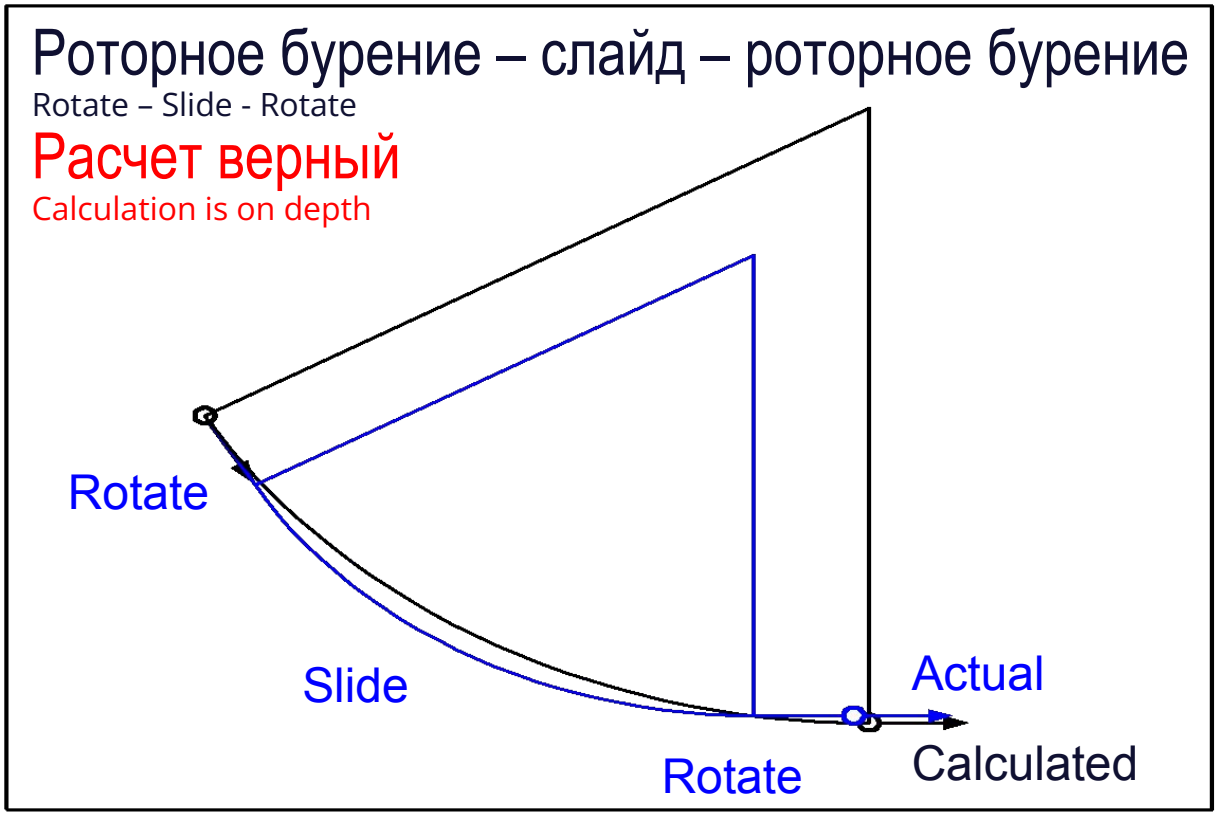
Schlumberger Confidential

Schlumberger

Влияние места и времени проведения замеров
Effect of Surveying Spacing & Timing

- Расположение слайд / роторное бурение

Slide / Rotate Spacing



Schlumberger Confidential

Schlumberger

4. Эллипсы неопределенности

Ellipses Of Uncertainty

Schlumberger Confidential

Эллипс неопределенности
Ellipse of Uncertainty

В чем проблема?
Problem?

- Насколько точно представлять скважину как линию на плане скважины?
  Is it accurate to represent the well as a line on the wall plot?
- Любой замер инклинометрии имеет известную степень погрешности. Эта погрешность значит то, что необходимо принимать в расчет «позиционную неопределенность» при планировании скважины
  All survey measurements have built in errors. These errors mean that you must take into account "positional uncertainty" when planning a well.
- Погрешность может быть крайне высокой
  These uncertainties can become extremely large!

Schlumberger Confidential

Эллипс неопределенности
Ellipse of Uncertainty

Замер включает в себя три измерения, таким образом имеет три источника погрешностей

A Survey has three measurements and so three sources of error.

- Глубина – зависит от точности контроля глубины. При соблюдении норм ошибка должна быть не велика

  Depth – depends upon the accuracy of depth tracking. If the standards are followed then this error should be small

- Зенитный угол – погрешности в измерениях зенитного угла проявляются в погрешности расчета вертикальной глубины. Акселерометры дают высокую точность и обычно эта ошибка не велика

  Inclination – errors in the Inclination measurement manifest themselves as errors in the calculated TVD. Accelerometers give excellent TVD accuracy so this error is usually small

- Азимут – точность магнетометров страдает от различных факторов, искажающих магнитное поле, в котором находится прибор. Таким образом это на данный момент самый большой источник погрешности.

  Azimuth - Magnetometer accuracy suffers from the various factors interfering with the overall magnetic field around the tool. This is by far the largest error.

Schlumberger Confidential

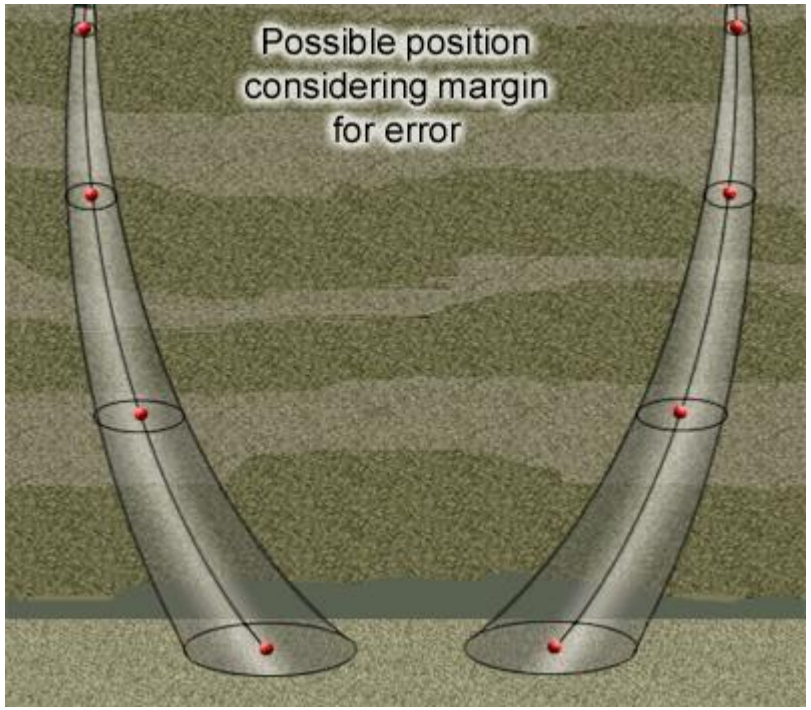
Schlumberger

Эллипс неопределенности
Ellipse of Uncertainty

- Эллипс неопределенности

  Ellipse of Uncertainty

  - В горизонтальном бурении погрешность выше
    Higher error drilling horizontally
  - При бурении на высоких широтах погрешность выше
    Higher error drilling at high latitude
  - При бурении вдоль линии В/З погрешность выше
    Higher error drilling East/West
  - Погрешность возрастает с глубиной
    Uncertainty increases with Depth
  - Различные приборы дают эллипсы различных размеров
    Different tool types create different ellipse sizes



Ошибка накапливается
They are cumulative!

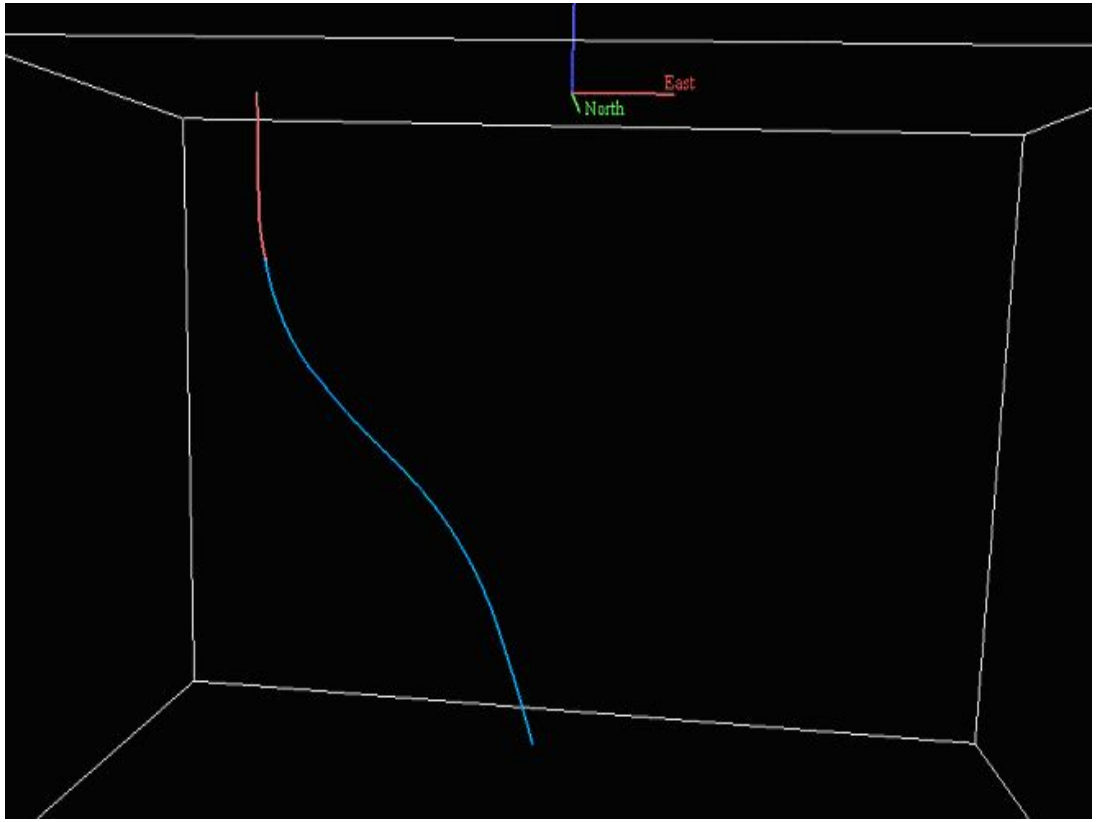
Schlumberger Confidential

Schlumberger

Эллипс неопределенности
Ellipse of Uncertainty

Здесь показана скважина, запланированная заказчиком

Here is a well the client has planned



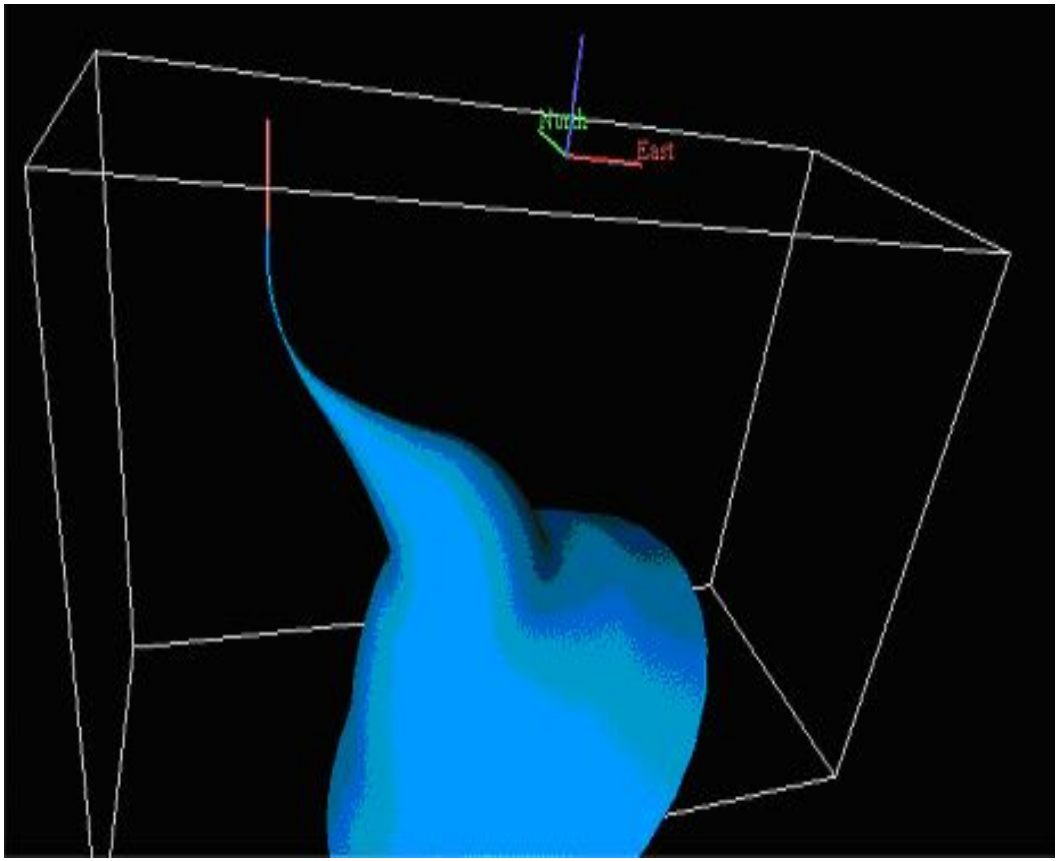
Schlumberger Confidential

Schlumberger

Эллипс неопределенности
Ellipse of Uncertainty

Так скважина выглядит после расчета размера эллипсов

Now look at it when we plot the actual size of the Ellipses

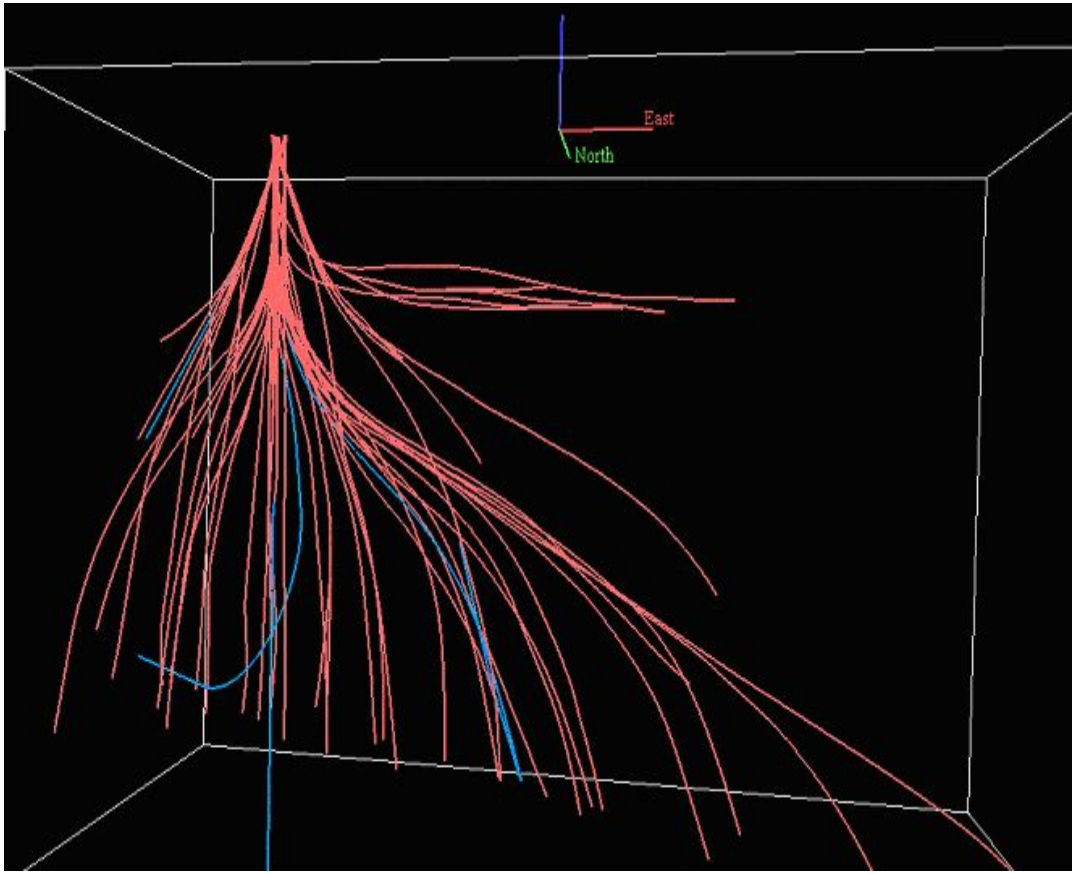


Schlumberger Confidential

Эллипс неопределенности
Ellipse of Uncertainty

Не забываем, что рядом есть еще скважины

Remember that there are other Wells in the Field.

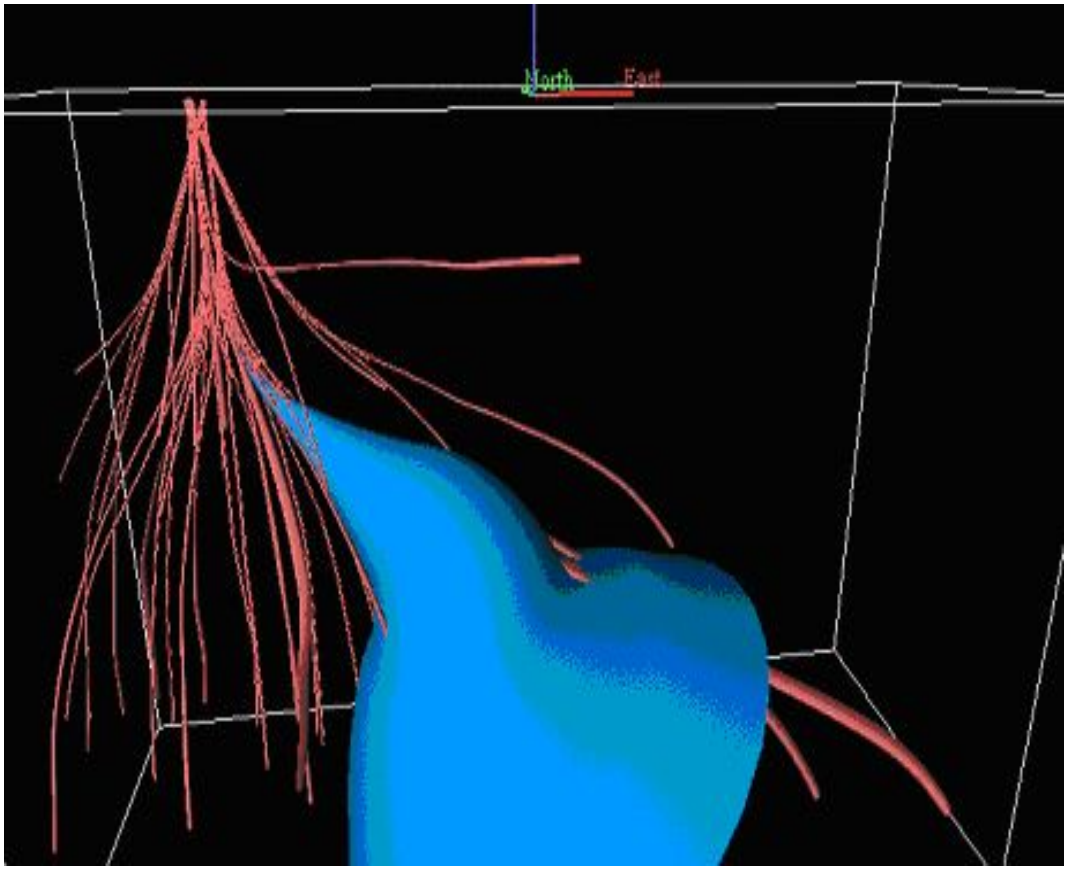


Schlumberger Confidential

Эллипс неопределенности
Ellipse of Uncertainty

Как теперь выглядит эллипс неопределенности?

What about this Ellipse of Uncertainty now?



Schlumberger Confidential

Эллипс неопределенности
Ellipse of Uncertainty

Что это значит?
What does this mean?

- Точность и качество замеров инклинометрии, которые мы делаем играют критическую роль!!!
  The accuracy and quality of the survey measurements you take are critically important!!!

- Любые помехи, действующие на замеры инклинометрии имеют огромный эффект на эллипсы неопределенности и расчет местоположения
  Any interference you have in your survey measurements has a very large effect on the EOU and position calculations.

Schlumberger Confidential

Задачи модуля - обзор
Module Objectives - Review

- По окончании этого модуля инженер должен уметь:
  At the end of this module you should be able to
  - Перечислить и описать различные типы инклинометров
    List and describe the different types of Survey Tools
  - Объяснить основные преимущества гироскопических инклинометров
    Explain the major benefit of Gyro based survey measurements
  - Обозначить все элементы, определяющие точку замера
    Describe all the elements that define a survey station
  - Описать как вычисляется зенитный угол скважины
    Describe how we calculate the Inclination measurement
  - Описать как вычисляется азимут
    Describe how we calculate the Azimuth measurement
  - Перечислите и опишите критерии качества замера
    List and describe the Field Acceptance Criteria

Schlumberger Confidential

Задачи модуля - обзор
Module Objectives - Review

- По окончании этого модуля инженер должен уметь:
  At the end of this module you should be able to
  - Перечислить коррекции, которые применяются к измерениям зенитного угла и магнитного азимута
    List and describe the corrections applied to Inclination and Magnetic Azimuth and be able to calculate them.
  - Описать различные методы вычисления замеров и обозначить метод, применяемый в IDEAL/Maxwell
    Explain different survey calculation methods and identify which survey calculation method is used by IDEAL.
  - Объяснить точку привязки и каждый из результатов вычисления замера
    Describe a Tie In Point and all the outputs from the survey calculations
  - Объяснить, что такое эллипс неопределенности и чем он важен
    Explain what an Ellipse of uncertainty is and why it is important

Schlumberger Confidential

Schlumberger