

Вибрации в бурении

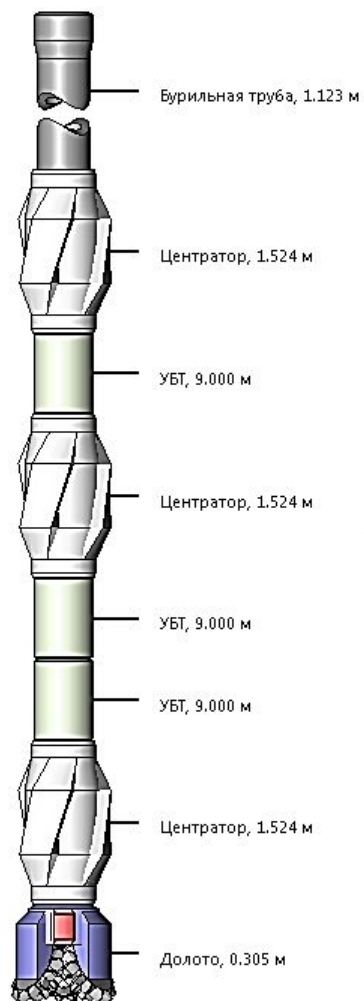
Вибрации бурильной колонны

- Вибрации – вынужденные механические колебания.
- Для возникновения вибраций необходим источник:
 - взаимодействие между долотом и разбуриваемой породой;
 - вращение бурильной колонны и её взаимодействие со стволом скважины;
 - работа буровых насосов;
 - работа ВЗД.
- Любая колонна при вращении создаёт вибрации.
- Если частота вынужденных колебаний бурильной колонны совпадёт с частотой её собственных колебаний – возникнет резонанс (резкое возрастание амплитуды вынужденных колебаний).

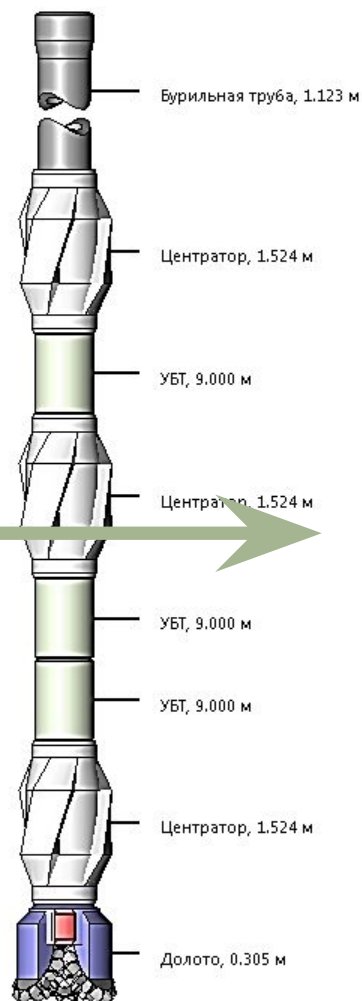
Вибрации бурильной колонны

- Частота вынужденных колебаний в большинстве случаев равна или кратна частоте вращения бурильной колонны. Скорость вращения бурильной колонны, при которой совпадают её вынужденные и собственные колебания – критическая скорость (частота) вращения.
- Факторы, влияющие на колебания бурильной колонны:
 - литология;
 - зенитный угол;
 - длина колонны.
- Наиболее эффективный метод выявления и борьбы с вибрациями – наблюдение и контроль непосредственно на буровой.

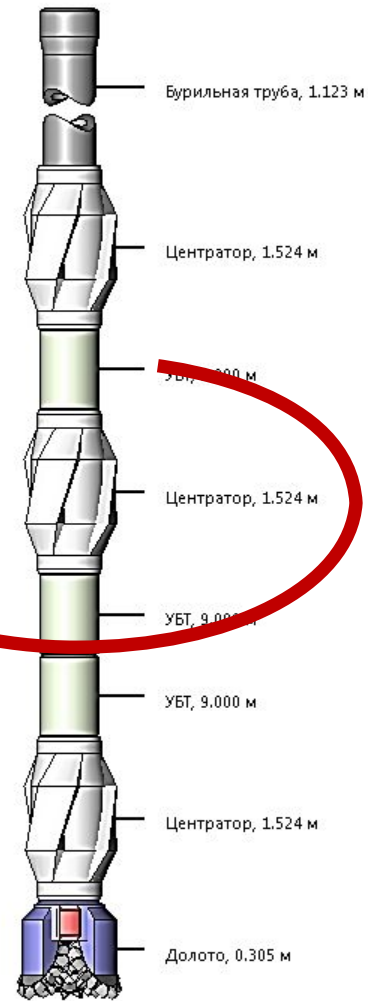
Виды вибраций в бурении



Осевая



Радиальная



Торсионная

Осевые вибрации

- Характеризуется потерей контакта между долотом и забоем, а также большими скачками нагрузки на долото.
- Обычно возникает при бурении твёрдых пород трёхшарошечным долотом.
- Трёхшарошечное долото может совершать до 3-х продольных перемещений за один оборот из-за формы забоя.
- После наращивания частота собственных колебаний бурильной колонны меняется, поэтому необходим контроль параметров бурения.
- Бурение твёрдых пород долотами PDC также иногда может приводить к возникновению осевых вибраций.
- Осевые вибрации могут быть вызваны сменой горных пород.

Признаки осевых вибраций

- Вертикальное перемещение бурильной колонны (наблюдается не всегда).
- Скачкообразное изменение момента/нагрузки на долото/частоты вращения.
- Повышенный шум.
- Вибрации бурового оборудования.
- Показания датчика вибрации прибора MWD (телесистема).
- Колебания талевого каната.

Последствия осевых вибраций

- Повышенный износ долота:
 - сломы и сколы резцов и зубьев;
 - преждевременный выход из строя подшипников и сальниковых уплотнений.
- Преждевременный выход из строя телесистем.
- Снижение механической скорости проходки.
- Повреждение наземного оборудования.

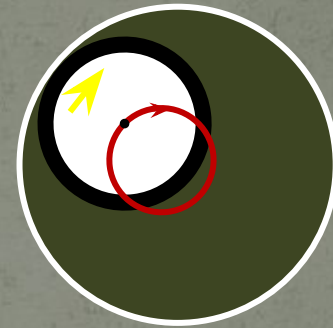
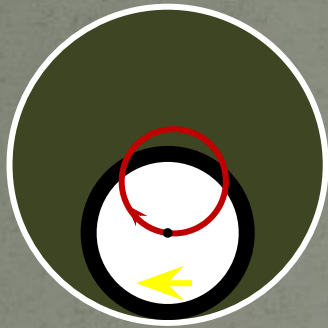
Контроль осевых вибраций

- Изменить скорость вращения бурильной колонны, чтобы частота вынужденных колебаний не совпадала с частотой её собственных колебаний.
- Приработать долото, чтобы улучшить форму забоя.
- Изменить количество ходов насоса.
- Изменить длину КНБК.
- Использовать наддолотные амортизаторы (с осторожностью, поскольку они сами могут спровоцировать осевые вибрации).

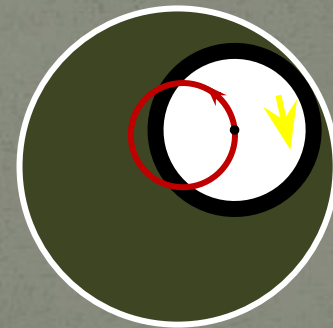
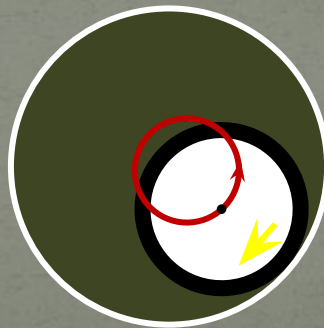
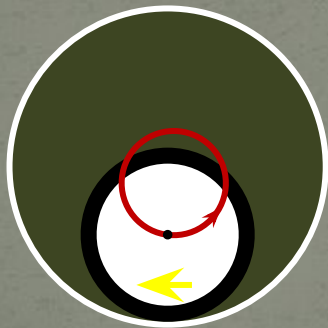
Радиальные вибрации

- При радиальной (вихревой) вибрации вращение элемента бурильной колонны происходит вокруг оси, отличной от геометрической оси скважины.
- Может возникать как на элементах бурильной колонны, так и на долоте.
- Часто наблюдается при использовании искривлённых ВЗД.
- Радиальные вибрации – трудноопределимое и достаточно устойчивое явление.
- Три типа радиальных вибраций:
 - опережающие (ось вращения долота вращается в ту же сторону, что и буровой инструмент);
 - обратные (ось вращения долота вращается в противоположную от инструмента сторону);
 - неустойчивые (хаотичная смесь первых двух типов)

Типы радиальных вибраций



Опережающие радиальные вибрации



Обратные радиальные вибрации

Определение радиальных вибраций

- Обычно не передаётся по бурильным трубам, сложно определимы с поверхности.
- Увеличение оборотов приводит к уменьшению механической скорости проходки.
- Участки плоского износа на элементах КНБК – индикатор радиальных вибраций.
- Характерный износ долот:
 - износ на калибрующей поверхности только одной из лопастей;
 - скол резцов на плечевой части профиля долота PDC;
 - скол зубьев на калибрующем ряду шарошки.
- Увеличенный момент на поверхности.

Определение радиальных вибраций

- При бурении твёрдых пород долотами PDC с ограничителями глубины внедрения резцов, долото может стать радиально нестабильным.
- Самый эффективный способ определения радиальных вибраций – показания датчика вибраций телесистемы:
 - повышенный уровень радиальной вибрации (обратное вращение);
 - пониженный уровень вращательных колебаний (обратное вращение);
 - снижение уровня радиальной вибрации (опережающее вращение);
 - увеличение вращательных колебаний (опережающее вращение).
- Радиальные вибрации могут вызываться серьёзными вращательными вибрациями (комбинированные вибрации).

Последствия радиальных вибраций

- Снижение механической скорости проходки.
- Сколы на резцах вследствие ударного воздействия на резцы с тыльной части и под углом.
- Плохое качество ствола скважины – увеличенный диаметр, спиралевидная форма ствола.
- Преждевременный выход из строя телесистемы.
- Увеличение момента.
- Участки плоского износа на элементах КНБК.
- Повышенный износ калибраторов.

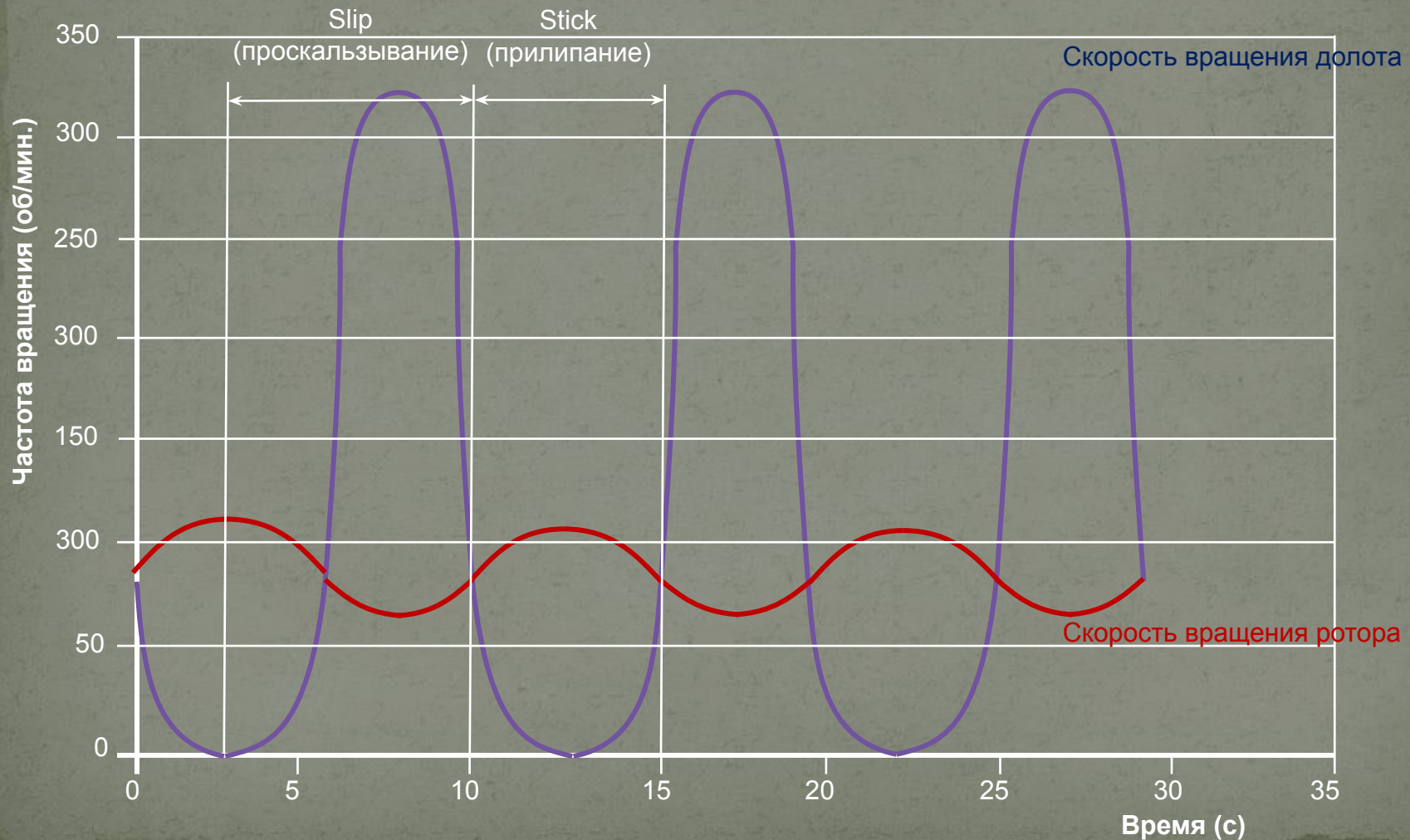
Контроль радиальных вибраций

- Радиальные вибрации очень устойчивое явление. Возможно придётся остановить ротор и дать колонне труб успокоиться.
- Необходимо снизить обороты и/или увеличить нагрузку на долото.
- Чётко соблюдать технологию следующих операций:
 - касание забоя и начало бурения;
 - прохождение твёрдых пропластков;
 - наращивание;
 - проработка ствола.
- Избегать сильных вращательных (торсионных) вибраций.
- Использовать специальные антивибрационные долота.
- Использовать наддолотные калибраторы.

Вращательные вибрации

- Вращательные (торсионные) вибрации – чередование ускорений и замедлений вращения бурильной колонны.
- Stick Slip – торсионные вибрации высокого уровня.
- Данный тип вибраций происходит вследствие контакта долота с буримой породой и/или вследствие сил трения между элементами КНБК и стенками ствола скважины.
- После наращивания частота собственных вибраций бурильной колонны изменяется, поэтому необходим контроль параметров бурения.
- Часто возникает с долотами PDC.
- Связаны с типом разбуриваемых пород.

Распознавание торсионных вибраций



Распознавание торсионных вибраций

- Высокий момент.
- Колебания момента более, чем на 15%.
- Неравномерность частоты вращения инструмента вплоть до остановки.
- Циклический шум привода ротора.
- Можно определить по показаниям телесистемы:
 - значения Stick Slip, полученные телеметрией;
 - часто связаны с сильными радиальными вибрациями;
 - очень высокое значение колебаний момента на забое;
- Проверить, связаны ли торсионные вибрации с долотом или с КНБК
можно оторвавшись от забоя и не прекращая вращения буровой колонны.

Последствия торсионных вибраций

- Преждевременный износ долота.
- Потери резцов при вращении долота в обратную сторону.
- Преждевременный отказ телесистемы.
- Неэффективное разрушение горных пород. Снижение механической скорости проходки до 30%.
- Перетяжка резьбовых соединений.
- Отворот резьбовых соединений при вращении в обратную сторону.
- Повреждение ротора.
- Повреждение ВЗД.

Контроль торсионных вибраций

- Увеличить частоту вращения инструмента (у каждой колонны есть критическая частота, после которой торсионные вибрации уменьшаются).
- Уменьшить нагрузку на долото:
 - меньший реактивный момент на долотах PDC вибрациями;
 - уменьшение контакта со стенками изогнутых труб.
- Уменьшить трение КНБК:
 - применять роликовые калибраторы;
 - улучшить смазывающие свойства раствора.
- Использовать менее агрессивный тип долот PDC.
- Улучшить очистку скважины, проводить проработку ствола.

Комбинированные виды вибраций

- Все виды вибраций взаимосвязаны.
- Второстепенные виды вибраций обычно появляются, когда первичные достигают серьёзных значений:
 - торсионные вибрации могут приводить к осевым и/или радиальным вибрациям;
 - радиальные вибрации могут порождать осевые вибрации;
 - осевые вибрации могут приводить к радиальным вибрациям.
- Комбинирование одновременно нескольких видов вибраций осложняет понимание происходящего на забое скважины.
- В некоторых случаях невозможно избавиться от всех типов вибраций.

Анализ вибраций

В составе ПО WELLPLAN компании Landmark© реализован модуль анализа вибраций бурильной колонны при её вращении.

Главная цель разработки подобного модуля:

Определение критической скорости вращения бурильной колонны и области повышенных напряжений, возникающие в процессе этого вращения.

В данном модуле производится анализ всей бурильной колонны (от долота до стола ротора) с помощью метода конечных элементов (МКЭ), а также с использованием методики вынужденной амплитудно-частотной характеристики.

Необходимо помнить, что напряжения, рассчитываемые в данном модуле относительноны и должны использоваться только для определения критической частоты вращения бурильной колонны.

Методика вычислений

Данный модуль производит расчет резонансных частот, возникающих в бурильной колонне как в процессе вращения, так и в процессе бурения с установкой отклонителя для набора параметров кривизны (статическое положение КНБК). Расчет начинается с вычисления смещения статической поверхности КНБК относительно ствола скважины. Это означает, что при расчете моделируются условия работы бурильной колонны и влияние на общий результат анализа следующих параметров:

- искривленность ствола скважины;
- размеры элементов КНБК;
- точки контакта бурильной колонны со стволом скважины;
- смещение КНБК относительно оси ствола скважины;
- эффекты вращательного трения.

Методика вычислений

- Основная задача процедуры вычисления критической скорости вращения состоит в том, чтобы установить необходимый набор вычислений для выбранного диапазона частот для того, чтобы определить чувствительность смещения КНБК к возбуждающей частоте.
- В этом случае предполагается, что при работе бурильной колонны на критической частоте (скорости вращения) силовые колебания, возникающие в точках ее контакта со стволом скважины (на долоте, калибраторах и др.) вызывают значительные смещения бурильной колонны и сильные внутренние напряжения.
- Математическое обоснование было разработано с учетом затухания (демпфирование) соответствующих характеристик бурильной колонны в установившемся режиме. Смысл использования затухания в общей модели в том, что частота вращения КНБК **необязательно должна совпадать по фазе с частотой возбуждения.**

Методика вынужденной амплитудно-частотной характеристики

- Данная методика основывается на том, что все элементы бурильной колонны имеют собственные осевые, боковые и торсионные внутренние (природные) колебания, которые могут быть «возбуждены». Источником этого возбуждения могут являться либо смещения колонны от оси ствола скважины, либо контактные силы, возникающие на долоте, калибраторах или в других точках соприкосновения бурильной колонны со стенками ствола скважины.
- Итоговая частота зависит от коэффициента возбуждения частоты k_B , который может быть рассчитан по формуле

$$f = \frac{N * k_B}{60}, \text{ где}$$

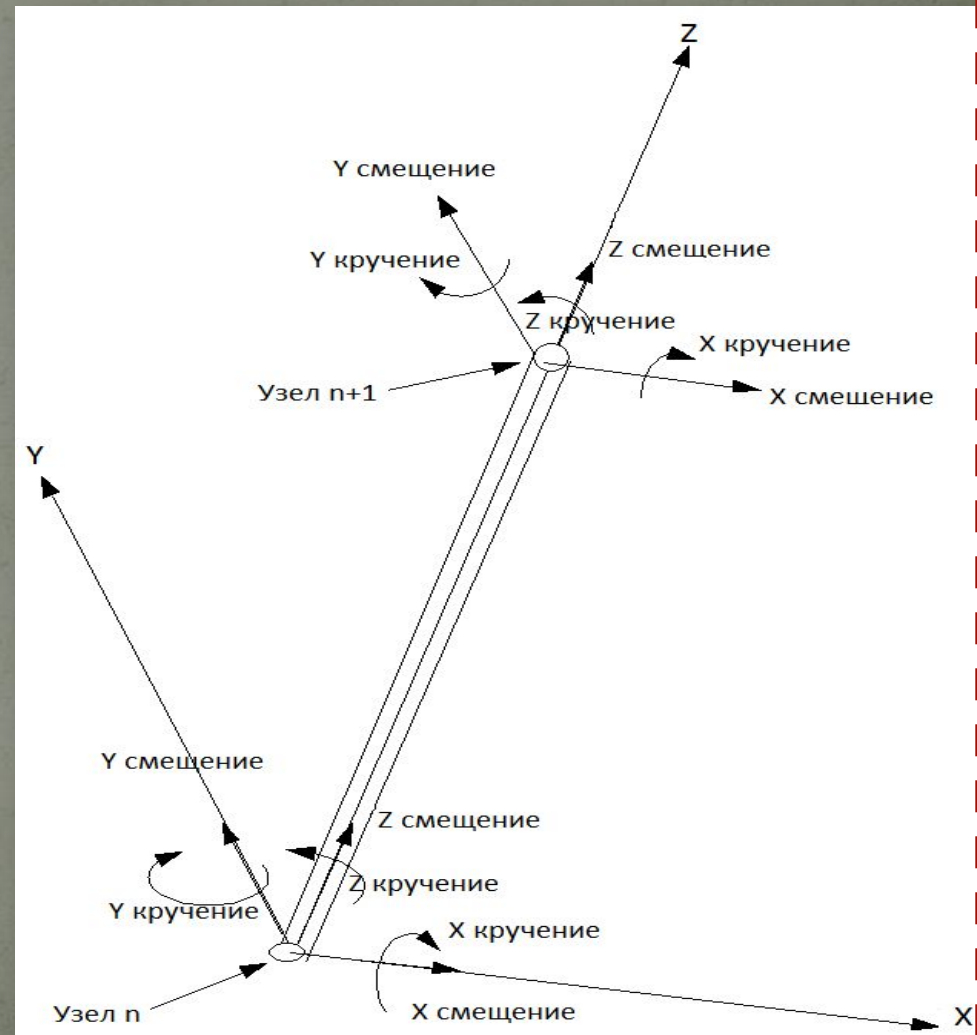
f – частота возбуждения, Гц

N – количество оборотов долота в минуту, об/мин

- Экспериментальные исследования показывают, что для 3-х шарошечного долота $k_B=3$ (по количеству шарошек). Для долот типа PDC k_B зависит от формы лопастей и распределения резцов

Граничные условия

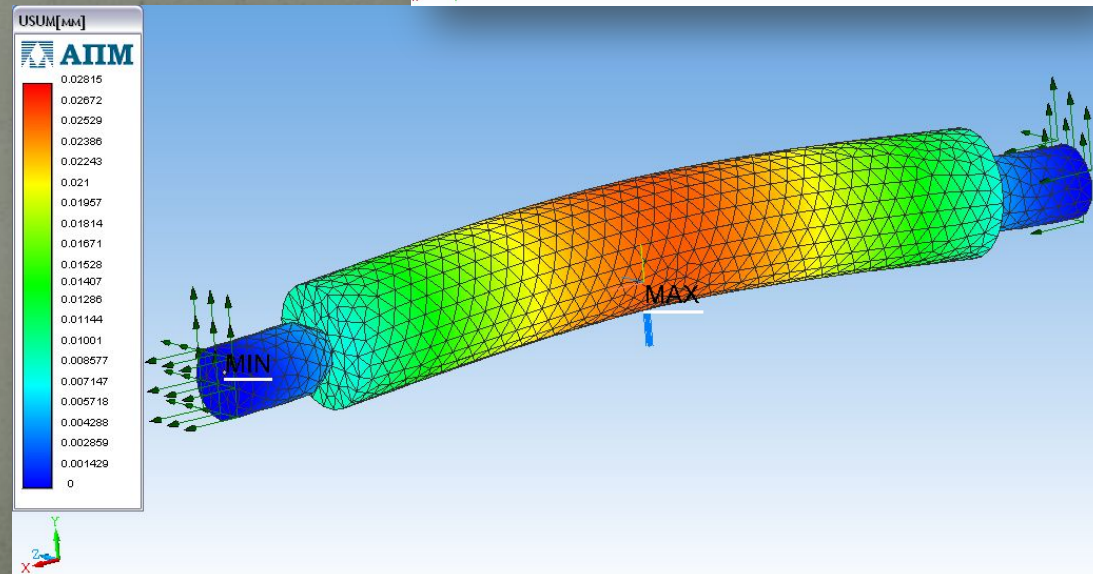
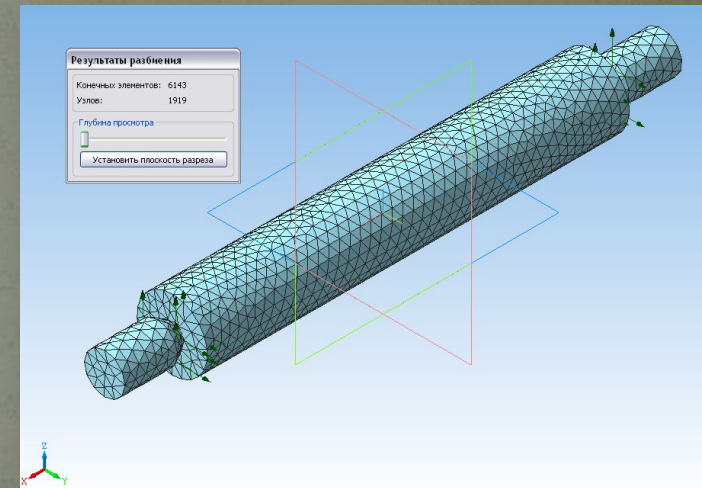
- Граничными условиями определяются физические ограничения, в которые заключены верхние и нижние узловые элементы. Они задаются для того, чтобы определить начальное положение первого узлового элемента сетки и конечное положение последнего узлового элемента сетки.
- Координаты начального и конечного положения определяются 6-ю степенями свободы (3 по смещению, 3 по кручению), которые может иметь каждый узел сетки буровой колонны.



Метод Конечных Элементов

МКЭ работает по следующей схеме:

1. Вся бурильная колонна делится на узловые точки, по правилам задаваемым в генераторе сетки МКЭ (в модуле ВНА бурильная колонна может быть поделена на 149 узлов (148 конечных элементов));
2. Геометрия ствола берется из заданного профиля скважины и ее диаметра;
3. Вычисляются осевые и крутящие нагрузки и напряжения, а также координаты (X, Y, Z) каждой узловой точки.



Условия анализа вибраций

При расчете в ПО Wellplan© Метод Конечных Элементов подразумевает следующее:

- Внутренние силы должны уравновешивать внешние силы;
- Решение найденное для отдельного конечного элемента должно быть совместимым со следующим конечным элементом. Это необходимо, так как деформируемые тела должны совмещаться;
- Поведение материалов должно исходить из их свойств.

После построения сетки каждый конечный элемент (КЭ) воспринимается как однородное тело с заданными размерами. Граничные условия каждого КЭ определяются параметрами узловых точек, которые определяются векторами сил.