



UM – Drillstring Analysis

Начинаем работать

Редакция 1

2021

Разработчики





Начинаем работать в ПК UM Drillstring Analysis: моделирование поведения бурильной колонны в скважине

В данном руководстве приведено описание процедуры установки программного обеспечения UM Drillstring Analysis на персональный компьютер, а также изложены базовые понятия и приемы, применяющиеся для описания исходных данных, запуска расчетов и анализа результатов для следующих типов анализа в рамках приложения:

- **Статический анализ:** Расчет положения равновесия компоновки низа бурильной колонны (далее, КНБК) в скважине. Анализ позволяет получить подробное представление о деформированном состоянии, силах, действующих в контакте со стенками скважины, а также внутренних силовых факторах и напряженно-деформированном состоянии компоновки. Модель КНБК может включать различные типы бурильного инструмента, в том числе системы управления направлением проходки, напорные двигатели и т.д.
- **Torque & Drag анализ:** Оценка сил и моментов сопротивления движению колонны в скважине для стандартного набора технологических операций: роторное бурение, бурение забойным двигателем, вращение над забоем, спуск/подъем колонны, прямая/обратная проработка ствола и технологические операции. Программное обеспечение предназначено для расчета и оценки напряженно-деформированного состояния колонны в скважине, визуализации расчетов и генерации отчета.
 - + **Soft-string анализ («мягкая» модель)** быстрая оценка состояния бурильной колонны в рамках допущения о расположении оси колонны вдоль оси скважины.
 - + **Stiff-string анализ («жесткая» модель)** подробное исследование с учетом локальных деформаций и поперечных смещений элементов колонны в скважине; применение методик Статического анализа КНБК для исследования состояния бурильной колонны в целом.



- **Анализ динамики колонны:** Моделирование движения бурильной колонны или КНБК в скважине во временной области с учетом взаимодействия со стенками скважины, силам резания на долоте и наддолотных расширителях, и произвольного набора силовых возмущений на элементах компоновки; выявление опасных динамических эффектов, оценка динамической нагруженности элементов колонны, оптимизация характеристик оборудования и режимов работы. Применяемый подход позволяет моделировать движение колонны в режиме, близком к реальному времени и изменять различные параметры модели в процессе моделирования.

В данном руководстве мы рассмотрим процедуры различных типов анализа для набора тестовых моделей – простых вращательных компоновок, а также компоновок, включающих системы управления направлением проходки и напорные двигатели.

Предполагается, что изучение руководства будет идти последовательно. Информация, изложенная в начальных разделах, может далее не повторяться или излагаться сокращенно.



Совместимость

	32-bit	64-bit
Windows XP	✓	✓
Windows Vista	✓	✓
Windows 7	✓	✓
Windows 8	✓	✓
Windows 10	✓	✓

Ответственность и авторские права

Данное руководство может изменяться время от времени. Авторы не несут никакой ответственности за любые ошибки и несоответствия, которые могут иметь место в данном документе.

ООО «Вычислительная механика». Все права защищены ©, 2020.

Все товарные знаки принадлежат их законным владельцам.

Контактная информация

Почтовый адрес:

Россия, 241035, г. Брянск,
ул. Харьковская, 10Б
ООО «Вычислительная механика»

Контактное лицо:

Лысиков Николай Николаевич,
Михеев Геннадий Викторович

Тел.: +7 4832 588329, +7 4832 568637

E-mails:

Общие вопросы: um@universalmechanism.com

Техническая поддержка, предложения и

замечания: support@universalmechanism.com

Продажи, продвижение, сотрудничество: sales@universalmechanism.com



СОДЕРЖАНИЕ

НАЧИНАЕМ РАБОТАТЬ В ПК UM DRILLSTRING ANALYSIS: МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ В СКВАЖИНЕ	2
УСТАНОВКА ПРОГРАММЫ UM DRILLSTRING ANALYSIS	8
1. ИНТЕРФЕЙС ПРИЛОЖЕНИЯ	13
1.1. Общая структура	13
1.1. Организация работы приложения	17
1.1. Настройки интерфейса	18
1.1.1. Система единиц	19
1.1.2. Режимы доступа.....	20
1.1.4. Рабочий каталог	21
1.1.5. Стиль интерфейса.....	22
1.2. Базы данных и инструменты	23
1.2.1. БД материалов, пород, буровых растворов.....	24
1.2.1.1. Справочник материалов.....	27
1.2.1.2. Справочник пород	28
1.2.1.3. Справочник буровых растворов.....	30
1.2.1. База данных деталей.....	31
1.2.1.1. Обобщенное описание детали колонны	33
1.2.1.2. Редактор описания детали	34
1.2.2. Редактор траектории скважины	40
1.2.3. Редактор конструкции скважины.....	45
1.2.4. Редактор компоновок колонны	48
1.3. Интерфейс проекта.....	54
1.3.1. Создание нового проекта	56
1.3.2. Сохранение проекта	57
1.3.3. Загрузка проекта	58
1.3.4. Окно проекта.....	59
1.3.4.1. Система навигации	59
1.3.4.2. Общая информация	60
1.3.4.3. Исходные данные	61
1.3.4.4. Интерфейс анализа	64
1.3.4.1. Создание отчетов.....	67
2. ОБУЧАЮЩИЙ ПРОЕКТ	69
2.1. Ввод общей информации.....	70
2.2. Описание исходных данных	72
2.2.1. Траектория скважины	72
2.2.2. Конструкция скважины.....	73
2.2.3. Компоновки низа колонны	74
2.2.3.1. Описание вращательной КНБК.....	74



2.2.3.1.1.	Сборка модели из элементов базы данных	75
2.2.3.2.	Описание КНБК с напорным двигателем	79
2.2.3.2.1.	Настройка управляемых параметров модели напорного двигателя	80
2.2.3.3.	Описание КНБК с РУС	84
2.2.3.3.1.	Настройка управляемых параметров модели РУС	85
2.2.4.	Компоновка верха колонны.....	87
2.3.	Статический анализ КНБК	88
2.3.1.	Методика Статического анализа КНБК	88
2.3.2.	Описание сценариев	89
2.3.2.1.	Описание сценария <i>Вращательная КНБК</i>	90
2.3.2.2.	Описание сценария <i>КНБК с напорным двигателем</i>	93
2.3.2.3.	Описание сценария <i>КНБК с РУС</i>	95
2.3.3.	Запуск расчета.....	97
2.3.4.	Вывод результатов.....	99
2.3.4.1.	Графики	100
2.3.4.2.	3D схема	102
2.3.4.1.	Продольное сечение	105
2.4.	Torque & Drag анализ колонны.....	107
2.4.1.	Методика Torque & Drag анализа	107
2.4.2.	Описание сценариев	109
2.4.1.	Запуск расчета.....	115
2.4.2.	Вывод результатов.....	116
2.4.2.1.	Графики	117
2.4.2.1.1.	Режим сравнения результатов	119
2.4.2.2.	Таблицы	120
2.5.	Анализ динамики колонны	121
2.5.1.	Методика анализа	121
2.5.1.1.	Модель колонны	122
2.5.1.2.	Процедура расчета.....	123
2.5.1.3.	Параметры сценария	125
2.5.2.	Описание сценариев	127
2.5.2.1.	Описание сценария <i>Вращательная БК</i>	128
2.5.2.1.	Описание сценария <i>Контроль скорости проходки</i>	133
2.5.2.2.	Описание сценария <i>БК с напорным двигателем</i>	135
2.5.2.3.	Описание сценария <i>БК с РУС</i>	137
2.5.3.	Расчет сценария в <i>Окне симуляции</i>	139
2.5.3.1.	Мастер переменных.....	143
2.5.3.2.	Процедура расчета.....	145
2.5.3.3.	Воспроизведение расчета в Окне Симуляции	149
2.5.4.	Расчет в «тихом» режиме.....	151
2.5.5.	Вывод результатов.....	154
2.5.5.1.	Начальное положение	155
2.5.5.2.	Переменные.....	157
2.5.5.3.	Распределения.....	158
2.5.6.	Режим сравнения результатов.....	160
2.5.7.	Управление параметрами при моделировании.....	162
2.5.7.1.	Управление параметрами сценария <i>Контроль скорости проходки</i>	163
2.5.7.2.	Управление параметрами сценария <i>БК с напорным двигателем</i>	167
2.5.7.3.	Управление параметрами сценария <i>БК с РУС</i>	172

3.	МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ	176
3.1.	Модель скважины	176
3.1.1.	Траектория скважины	176
3.1.2.	Конструкция скважины.....	179
3.1.3.	Система координат скважины.....	180
3.2.	Модель детали бурильной колонны	182
3.2.1.	Инженерное описание детали	182
3.2.1.1.	Секции с лезвиями.....	183
3.2.1.2.	Однородные секции.....	185
3.2.1.3.	Соединения секций элемента детали.....	186
3.2.1.4.	Специальные типы взаимодействия секции со стенками скважины	190
3.2.1.5.	Управляемые параметры	193
3.2.1.6.	Настройки дискретизации для элемента детали.....	193
3.2.2.	Описание составных деталей	194
3.2.2.1.	Элементы составной детали	194
3.2.2.2.	Связи элементов составной детали.....	195
3.3.	Модели контактного взаимодействия со стенками скважины	198
3.3.1.	Контакт типа «Окружность - Цилиндр».....	198
3.3.2.	Контакт типа «Точки - Цилиндр»	199
3.4.	Модели силовых возмущений.....	201
3.5.	Модели резания породы	205
3.5.1.	Модель Стрибека.....	206
3.5.2.	Модель PDC долота.....	210
3.5.3.	Модель шарошечного долота	213
3.5.4.	Модель Tucker-Wang.....	214
3.6.	Модель бурильной колонны	216
3.6.1.	Компоновки нижней и верхней частей колонны.....	217
3.6.2.	Настройки динамической модели колонны	219
3.6.2.1.	Настройки дискретизации модели	219
3.6.2.2.	Настройки контактного взаимодействия колонны со скважиной	222
3.6.2.3.	Учет влияния бурового раствора в скважине	225
3.6.2.4.	Граничные условия.....	226
3.6.2.5.	Отображение результатов	229
3.6.2.6.	Расчет положения равновесия	230
3.6.2.7.	Настройки модели балки	231
3.6.2.1.	Моделирование динамики БК	232
4.	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	233

Установка программы UM Drillstring Analysis

Данный раздел содержит описание действий необходимых для установки программного обеспечения UM Drillstring Analysis.

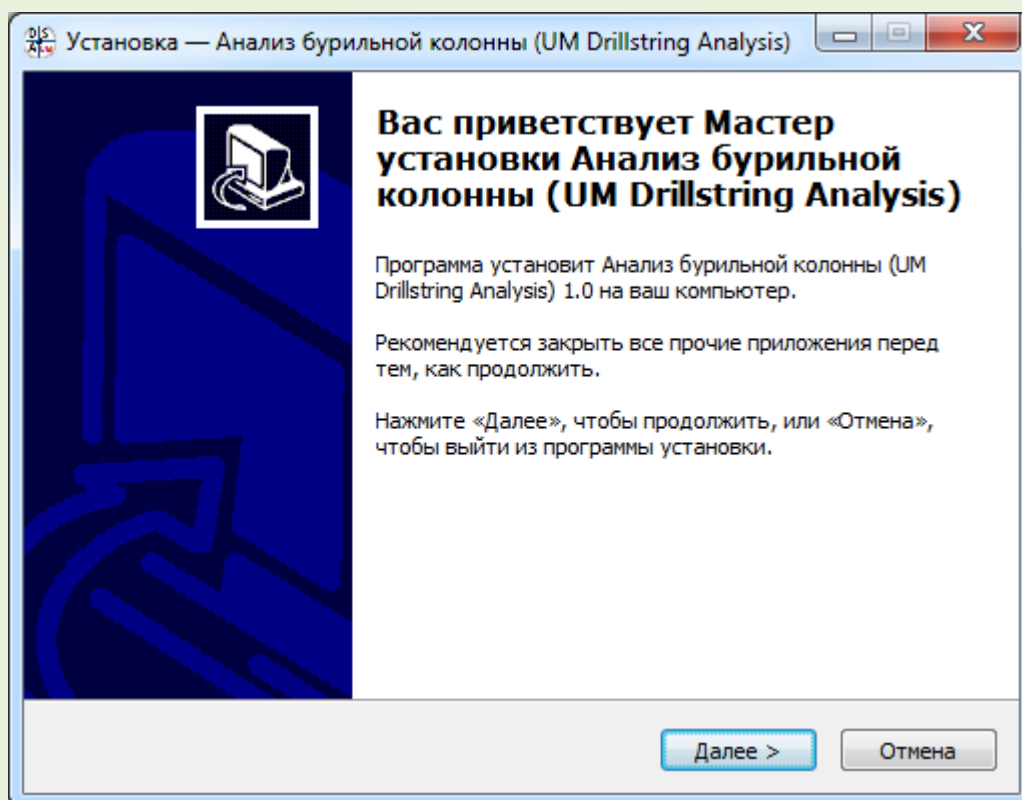
Структура программы UM Drillstring Analysis

Программа UM Drillstring Analysis (здесь и далее - DSA) включает единый интерфейс и набор исполняемых файлов, применяемых для расчета и представления результатов.

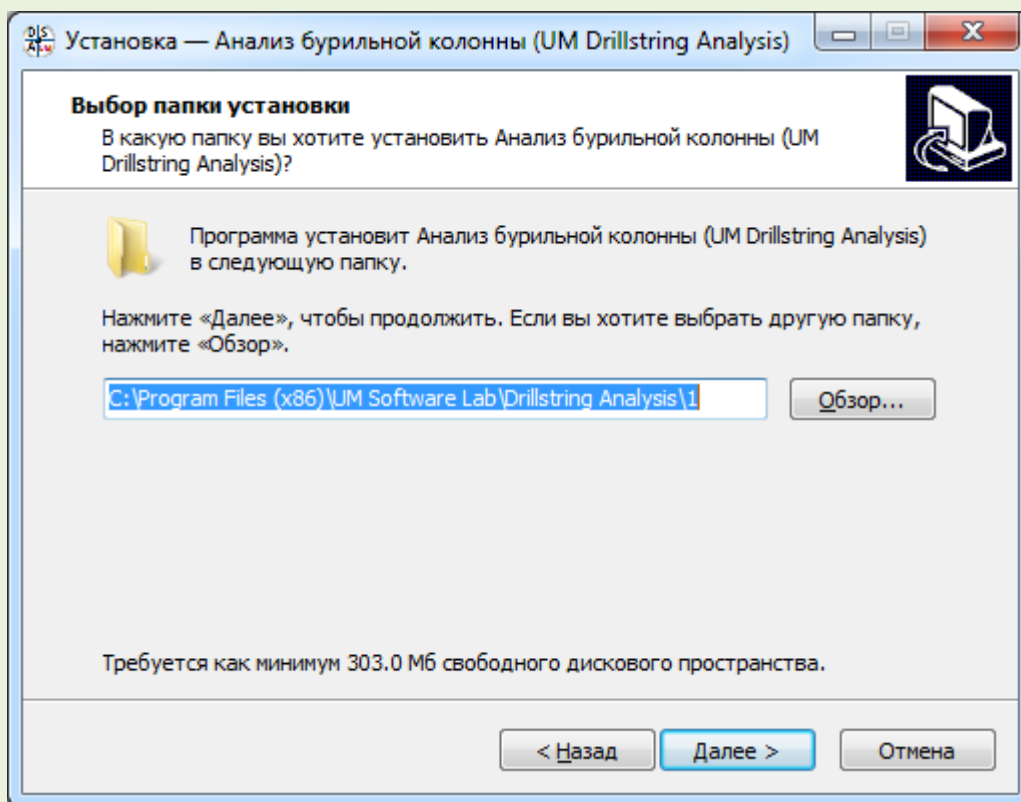
Установка программы DSA

Запускаем файл инсталляции и следуем инструкциям.

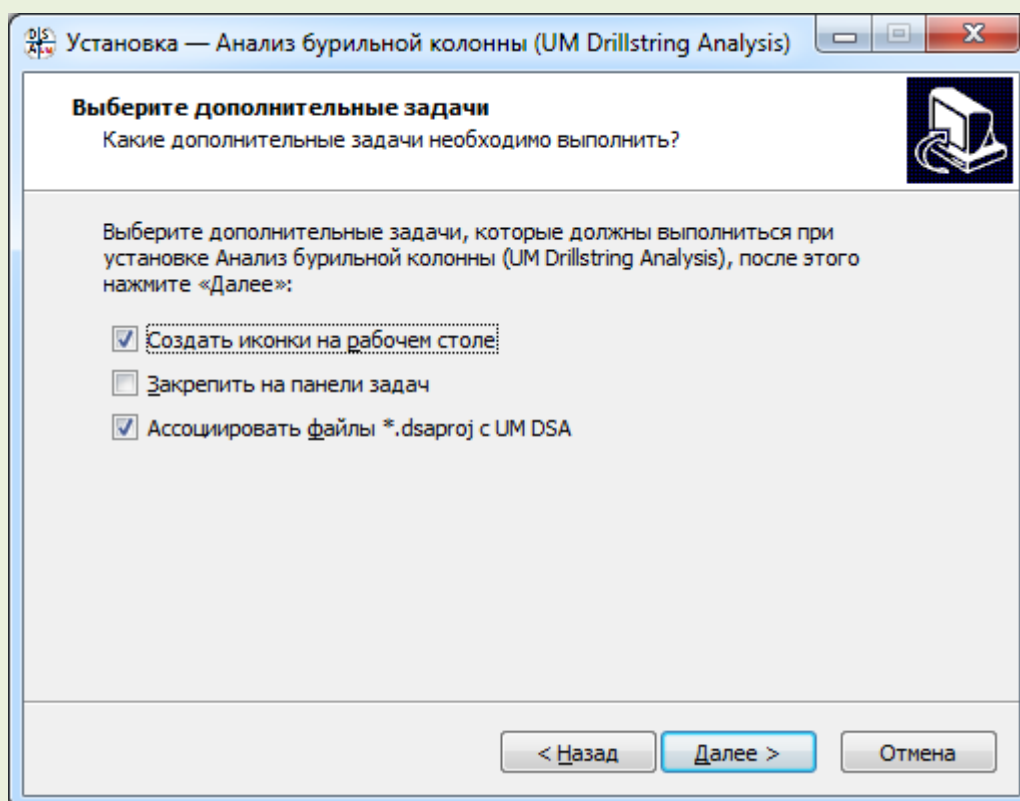
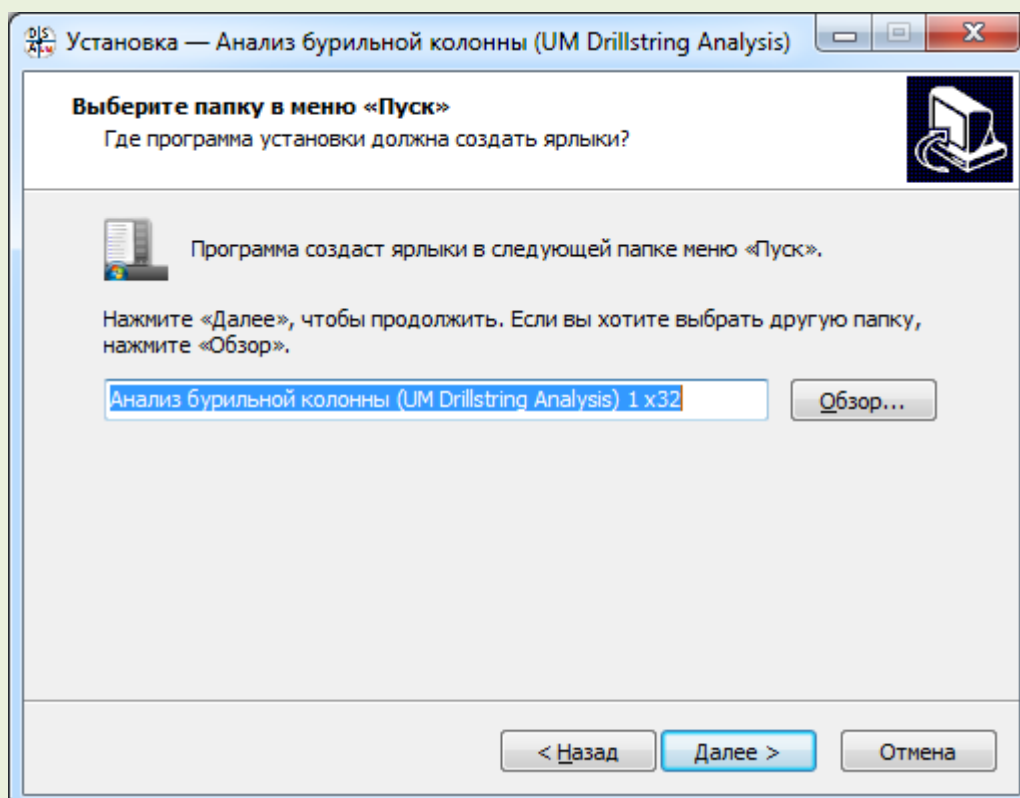
Внимание! Для корректной установки программы требуются права администратора.

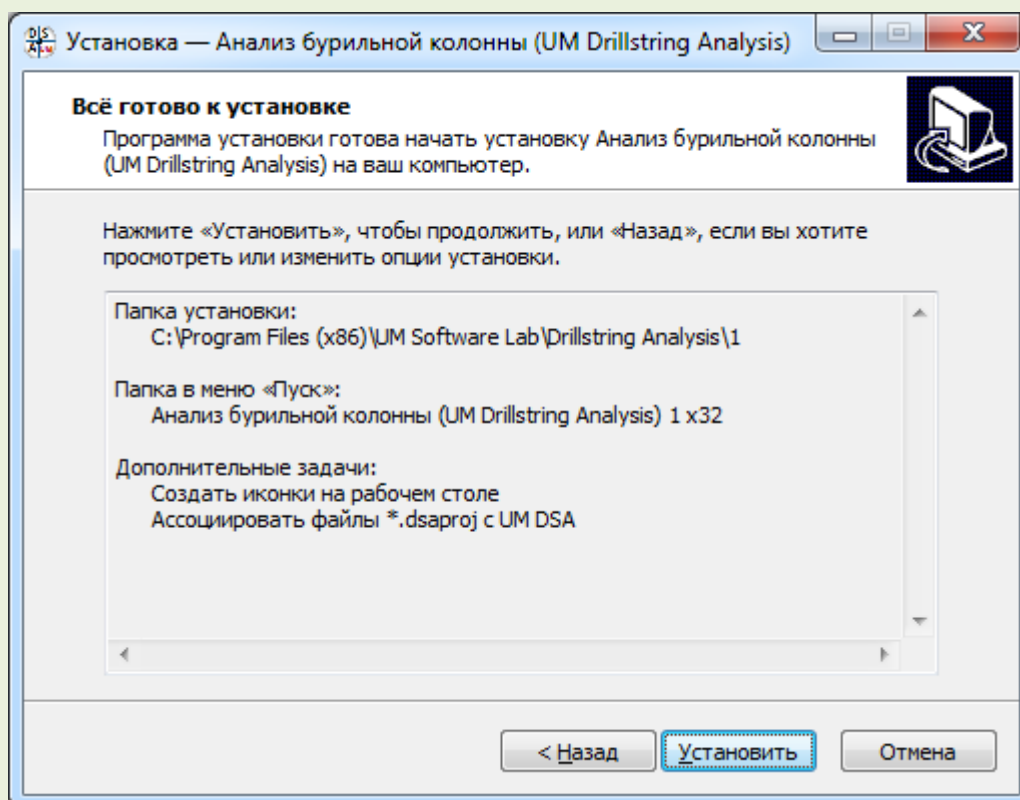


Программа инсталляции предложит установить программу в каталог *C:\Program Files\Drillstring Analysis\1* для Windows XP и *C:\Program Files (x86)\UM Software Lab\Drillstring Analysis\1* для Windows 7/8/10. Исполняемые файлы будут скопированы в выбранный каталог.



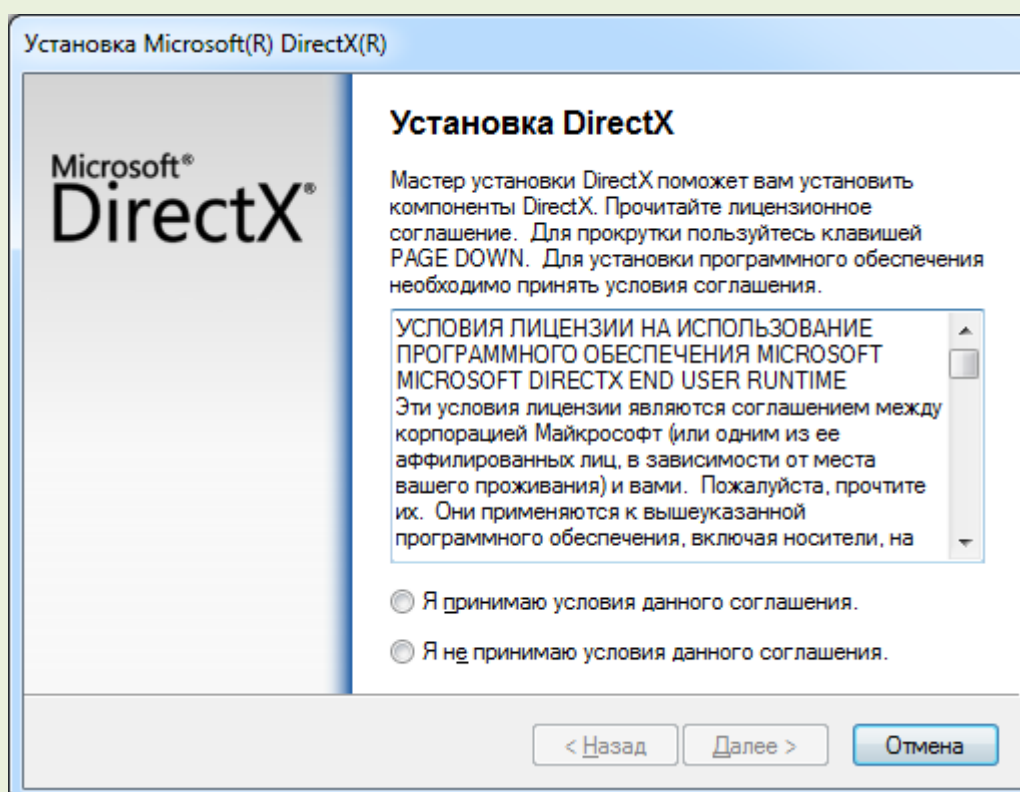
Базы данных, примеры и вспомогательные файлы копируются в каталог *C:\Documents and Settings\All Users\Documents\UM Software Lab\Drillstring Analysis\1* для Windows XP и *c:\Users\Public\Documents\UM Software Lab\Drillstring Analysis\1* для Windows 7/8/10.

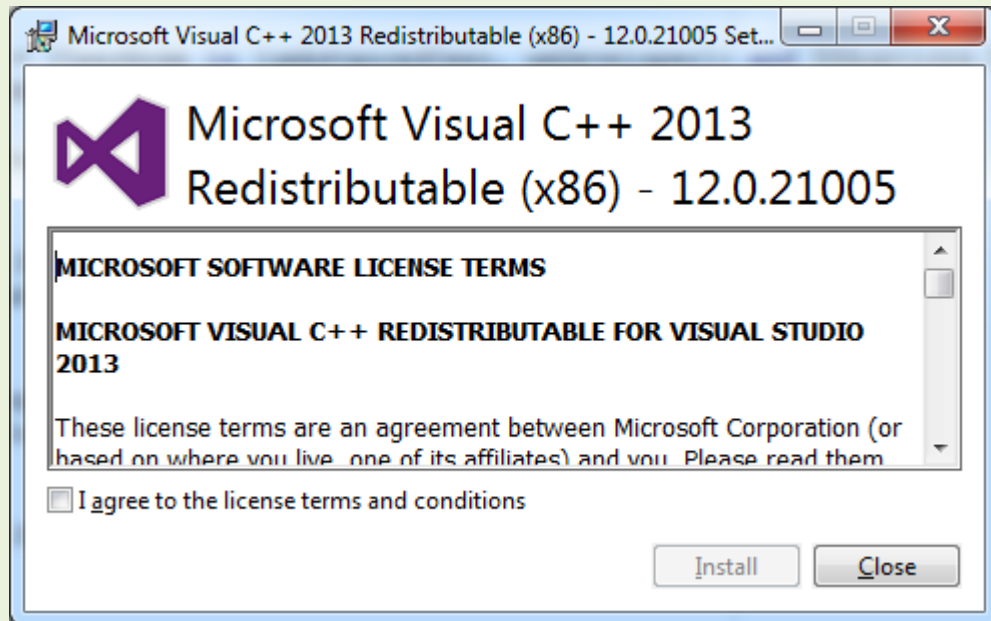




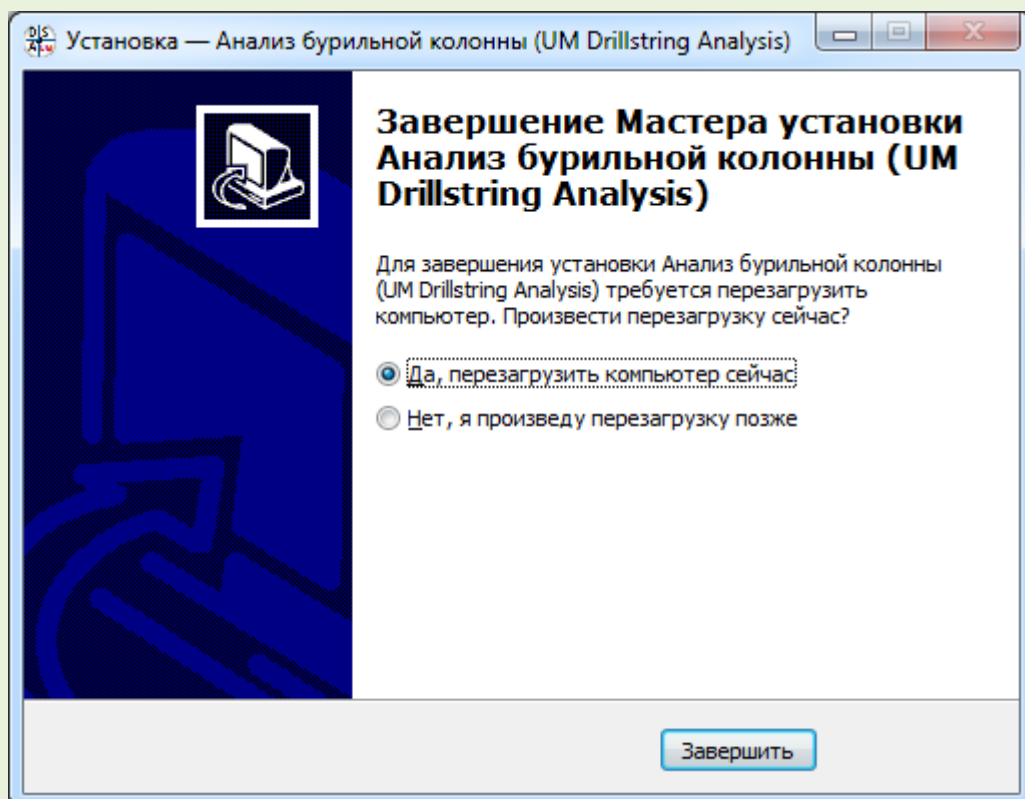
Установка Microsoft DirectX

Microsoft DirectX 9 or higher, and Microsoft Visual C++ 2013 Redistributable should be installed on the workstation to enable 3D visualization of drillstring in wellbore. Installations of the components are included in DSA Installation.





Для завершения процедуры установки приложения необходимо перезагрузить компьютер. После перезагрузки UM Drillstring Analysis готово к работе.





1. Интерфейс приложения

Данный раздел содержит общую информацию о структуре приложения DSA, основных инструментах, используемых для описания исходных данных для различных типов анализа, структуре расчетного проекта, организации вычислений и постобработки результатов. Более подробно процедуры различных типов анализа разбираются в Разделе 2.

1.1. Общая структура

Интерфейс приложения DSA предназначен для ввода исходных данных, формирования заданий, контроля выполнения расчетов, представления и постобработки результатов для различных типов анализа; для *Анализа динамических процессов* доступен вывод результатов, а также изменение параметров модели в процессе моделирования.

Интерфейс обеспечивает возможность сохранения исходных данных в формате специализированных баз данных, отображение рассчитанных результатов и выгрузку данных в отчеты в форматах MS Excel и PDF.

Статический анализ

Интерфейс Статического анализа разработан для исследования одной или нескольких компоновок КНБК для различных положений компоновок в скважине (по глубине) с точки зрения уровня контактных сил, осевых сил, крутящих и изгибающих моментов, прочих внутренних силовых факторов и напряжений; а также выбора наиболее оптимальной компоновки на основании сравнения полученных результатов.

Torque&Drag анализ

Приложение включает инструменты для описания, расчета и сравнения результатов Torque & Drag анализа бурильной колонны для различных режимов различных технологических операций; оценки критических уровней нагрузок, исследования влияния сил трения на участках скважины на распределение осевой силы и момента сил трения и т.д.

Анализ динамики колонны

Приложение позволяет эффективно выполнять моделирование движения КНБК/компоновки колонны в скважине во временной области; кинематические характеристики, внешние и внутренние силы, показатели напряженно-



деформированного состояния элементов колонны могут отображаться во время моделирования, а также обрабатываться по его завершению.

Функционал *Анализа динамики колонны* ориентирован на выявление опасных динамических эффектов, возникающих при работе компоновки, оценки уровня нагруженности деталей, оптимизации характеристик оборудования и режимов работы. Поддерживается изменение параметров модели и режимов работы в процессе моделирования.

Структура данных

Все типы анализа поведения БК проводятся в рамках *Расчетного проекта* (далее - *Проект*). Интерфейс обеспечивает работы с одним или несколькими проектами следующего содержания:

- *Исходные данные*

Исходные данные по траектории и конструкции скважины, компоновки нижней и верхней частей буровой колонны.

- *Анализ*

Проект может включать множество наборов исходных данных для расчета – *сценариев*, которые могут запускаться последовательно или в параллельных потоках. *Сценарий* соответствует единичному положению выбранной колонны в скважине, набору эксплуатационных параметров и опций, специфичных для конкретного вида анализа. Интерфейс позволяет анализировать результаты для отдельного сценария, а также проводить сравнение данных нескольких сценариев.

Создание отчетов

Приложение поддерживает автоматическое создание отчетов в формате PDF. Пользователь имеет возможность выбирать данные для отчета: от отдельного снимка экрана, до полного описания проекта.

Главная форма приложения

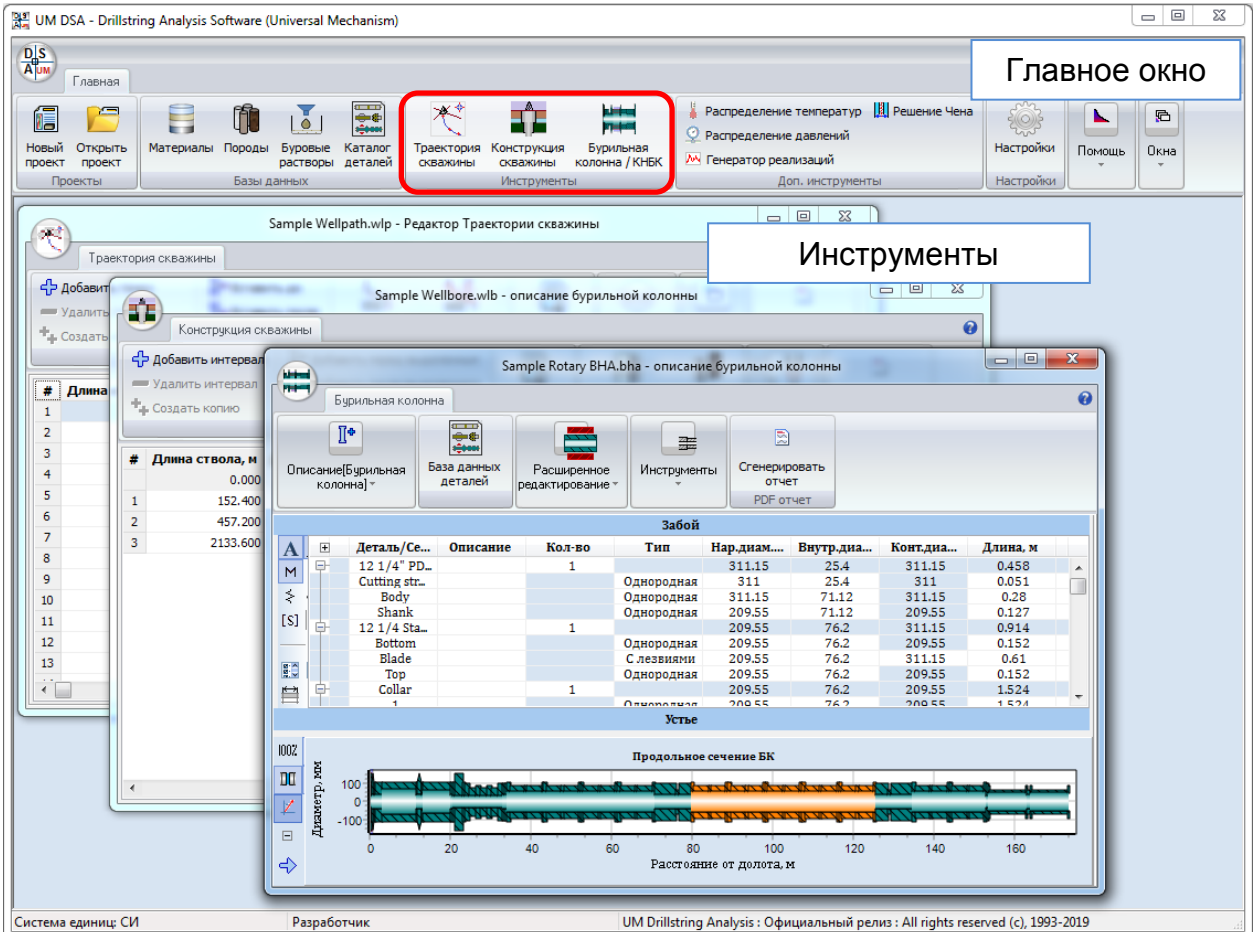
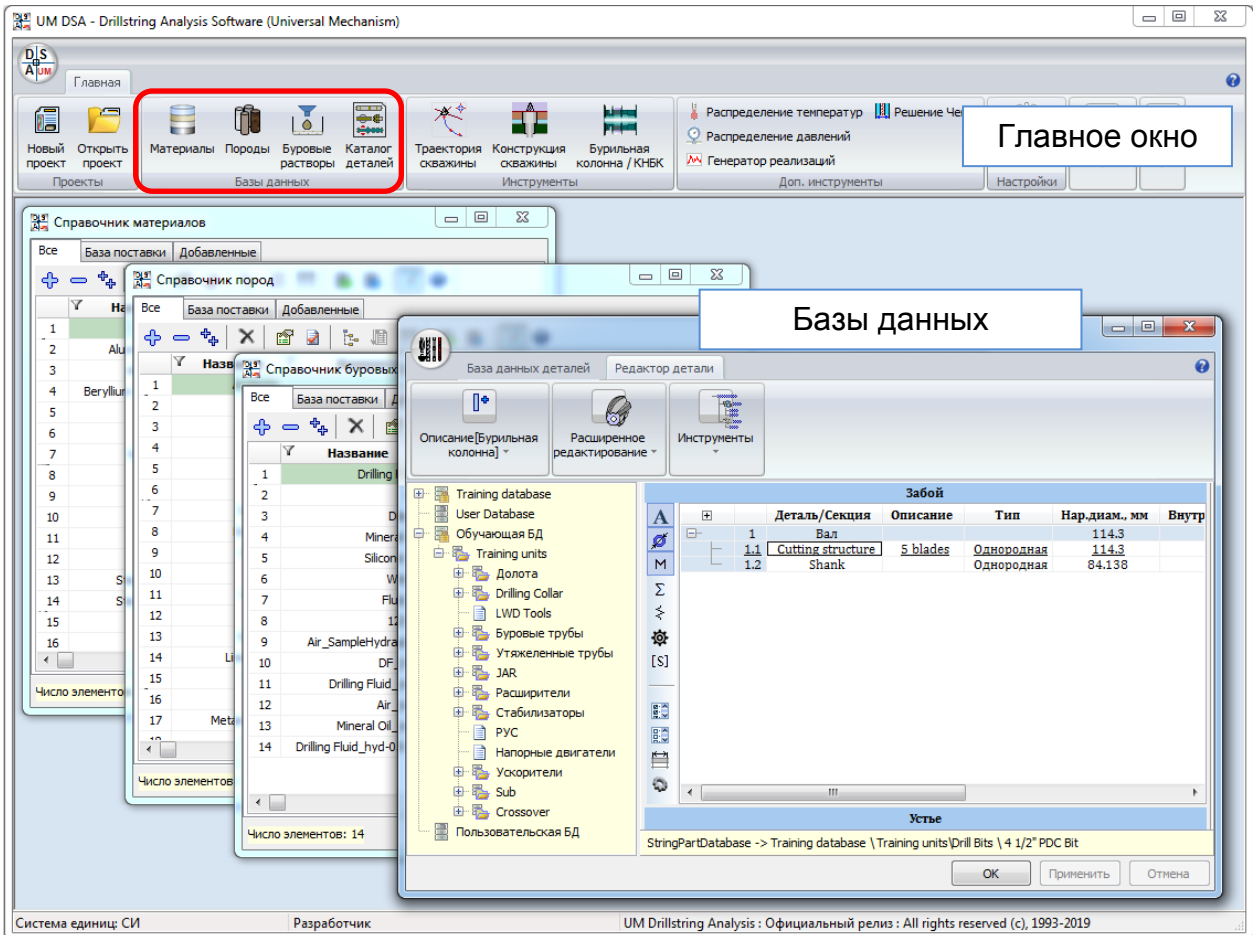
Главное окно приложения обеспечивает доступ к общим настройкам приложения, базам данных и проектам, а также отдельным инструментам, которые могут использоваться без создания расчетного проекта.

Задание исходных данных, настройка решателя, расчет, обработка результатов и создание отчетов по результатам расчета реализуется в **Окне проекта**.

The screenshot displays the UM Drillstring Analysis Software interface. The top window is the 'Главное окно' (Main Window), which contains a menu bar with options like 'Новый проект' (New Project) and 'Открыть проект' (Open Project), and a toolbar with icons for materials, rock types, drilling fluids, and catalogs. The bottom window is the 'Окно проекта' (Project Window), which is titled 'Training project.dsaproj - Проект'. It features a ribbon menu with tabs for 'Общая информация' (General Information), 'Исходные данные' (Initial Data), 'T&D: Базовые операции' (T&D: Basic Operations), 'Статический анализ' (Static Analysis), and 'Анализ динамических процессов' (Dynamic Process Analysis). The 'Исходные данные' tab is active, showing a table of well trajectory data and a graph of depth vs. horizontal displacement.

#	Длина ствола, м	Зенит, град	Азимут, град
1	0.000	0.000	0.000
2	144.300	0.000	0.000
3	170.000	0.530	145.540
4	191.000	0.620	12.300
5	215.500	0.530	28.820
6	242.000	0.530	42.440
7	271.000	0.260	45.160
8	303.000	0.090	145.530
9	332.000	0.090	46.480
10	360.000	0.090	42.700
11	389.000	0.090	292.490
12	418.000	0.090	8.690
13	447.000	0.180	266.380
14	474.000	0.180	272.010
15	503.000	0.350	143.510
16	560.000	0.180	168.560
17	588.000	0.450	130.540
18	600.000	1.400	185.940
19	630.000	4.350	198.250
20	660.000	7.340	200.580
21	690.000	10.340	201.560
22	699.130	11.250	201.760
23	720.000	11.250	201.760
24	750.000	11.250	201.760

The graph on the right shows 'Глубина, м' (Depth, m) on the y-axis (0 to 1600) and 'Горизонтальное смещение, м' (Horizontal displacement, m) on the x-axis (0 to 1493). The curve shows a sharp initial drop in depth followed by a more gradual decrease.



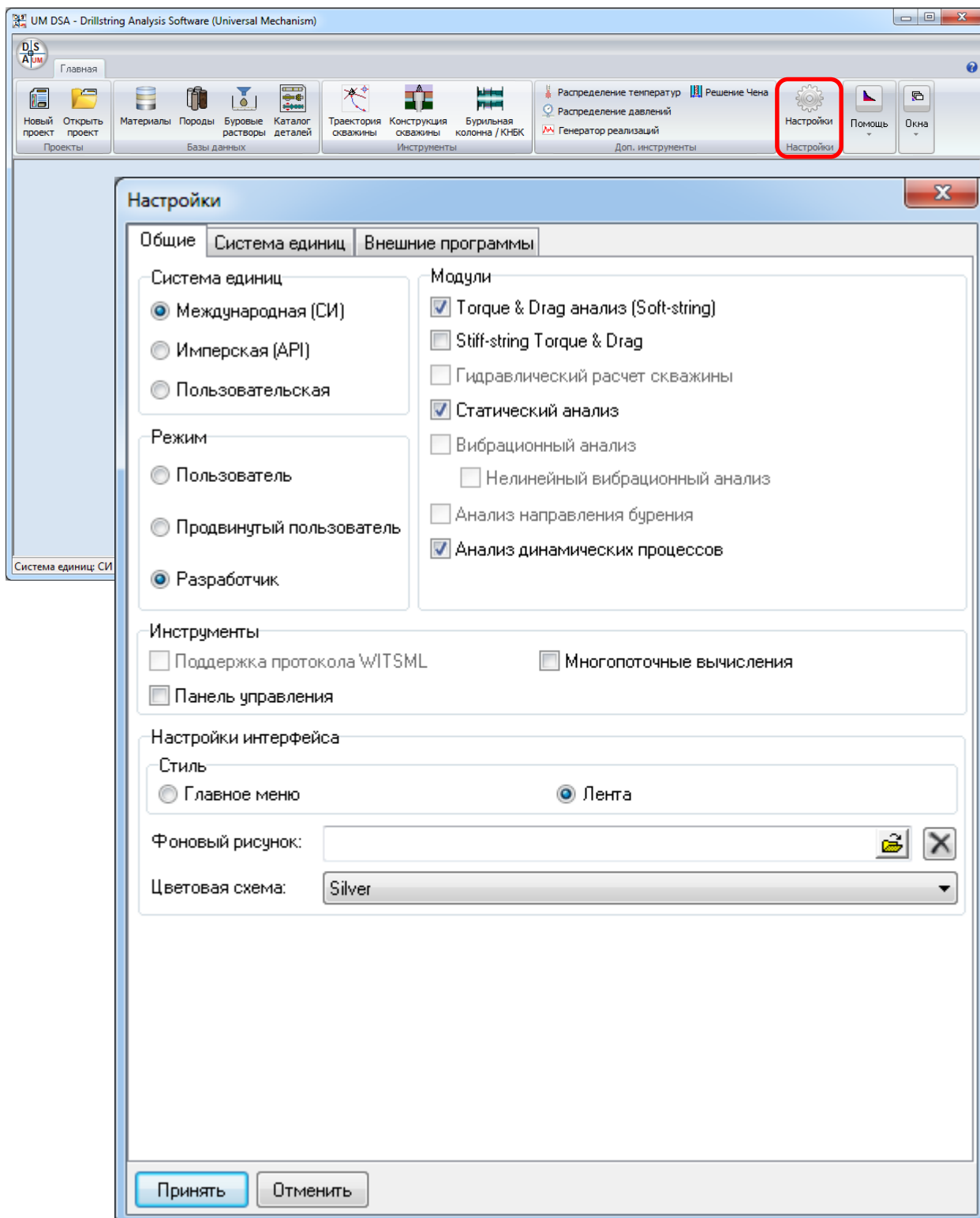
1.1. Организация работы приложения

Процедура исследования компоновки колонны в приложении Drillstring Analysis может быть проиллюстрирована следующей схемой.



1.1. Настройки интерфейса

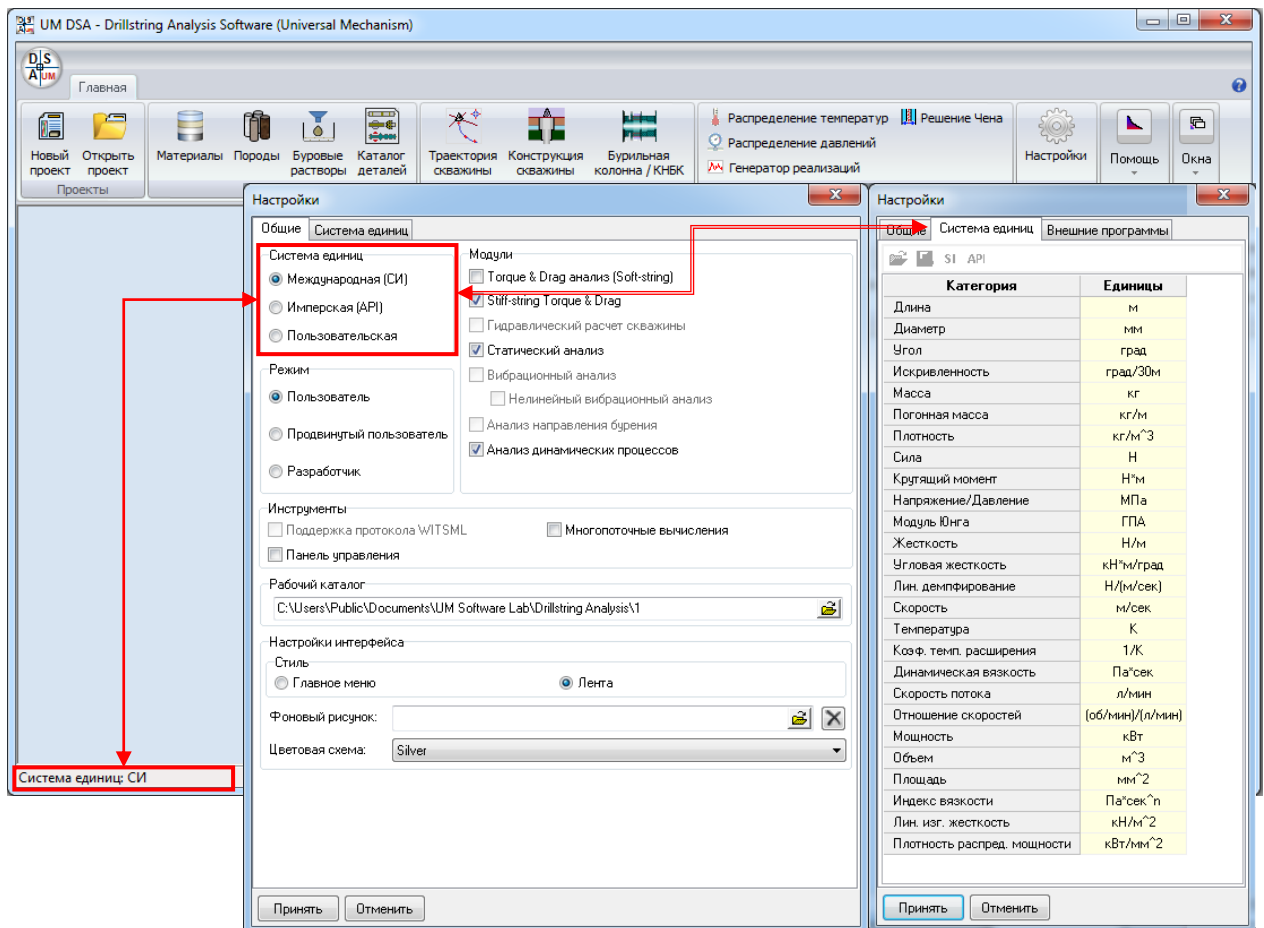
Выберите пункт **Настройки** Главного меню приложения для задания общих параметров интерфейса: выбора системы единиц (СИ, Имперская или Пользовательская) и режима доступа (*Пользователь*, или *Продвинутый пользователь*, или *Разработчик*), список типов анализа и инструментов, стиль главного меню, заставки рабочего стола, цветовой гаммы и т.д.



1.1.1. Система единиц

Интерфейс приложения поддерживает ввод числовых параметров и вывод результатов в системе единиц СИ (SI) и Имперской системе (API), а также осуществляет автоматическую конвертацию единиц.

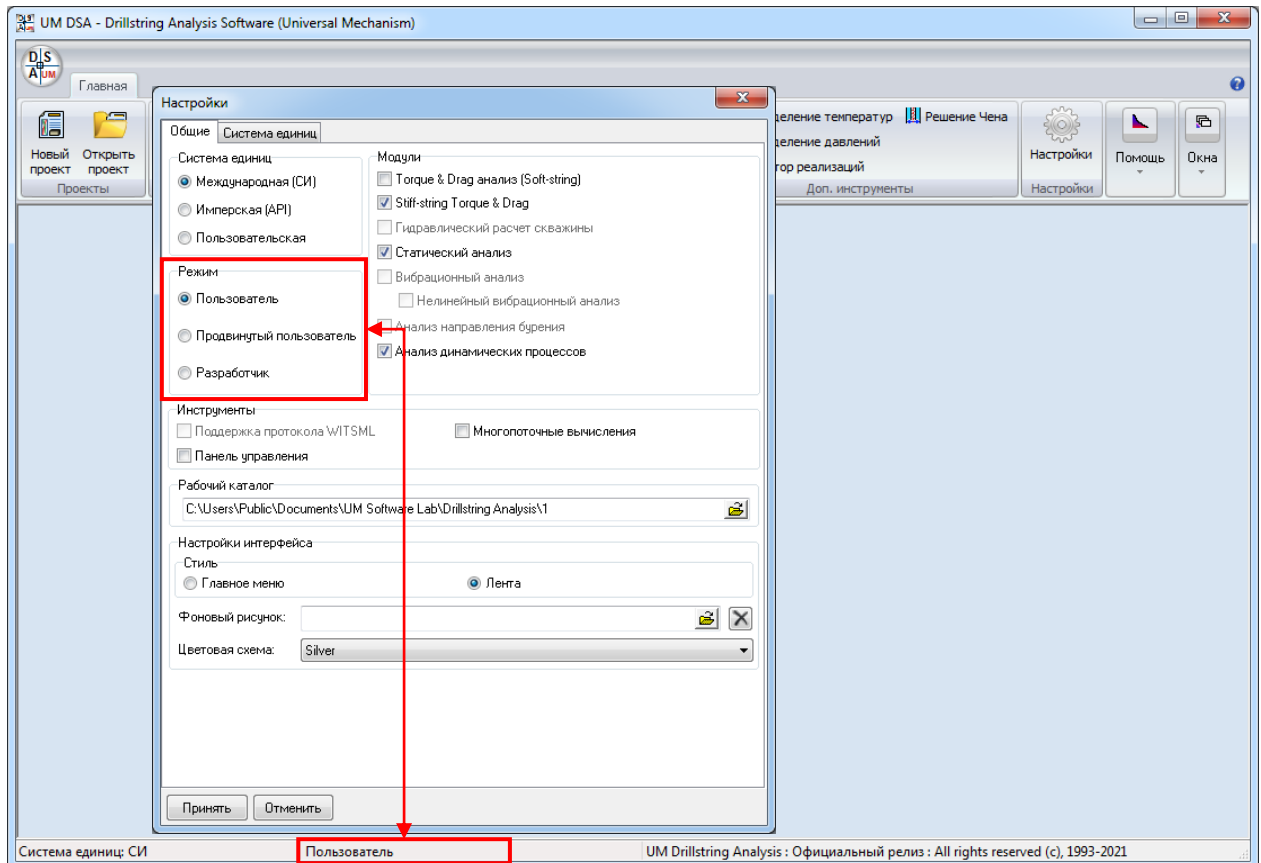
Пользователь также может выбрать единицы измерения для различных типов величин (Пользовательская) на закладке **Система единиц**.



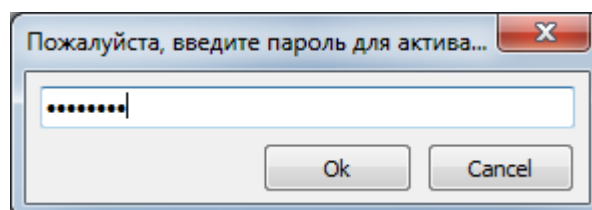
Метка текущей системы единиц (**СИ**, **API**) отображается в левом нижнем углу **Главного окна**. Дважды щелкните по панели или используйте окно **Настройки** для смены системы единиц. Все величины будут конвертированы автоматически.

1.1.2. Режимы доступа

Пользователь может выбрать уровень доступа к инструментам приложения, выбрав один из режимов: **Пользователь** или **Продвинутый пользователь**¹. В режиме **Пользователь** в интерфейсе не отображаются настройки, рекомендованные к применению по умолчанию.



Метка текущего режима доступа отображается в левом нижнем углу **Главного окна**. Щелкните на панели, либо воспользуйтесь окном **Настройки** для смены режима.



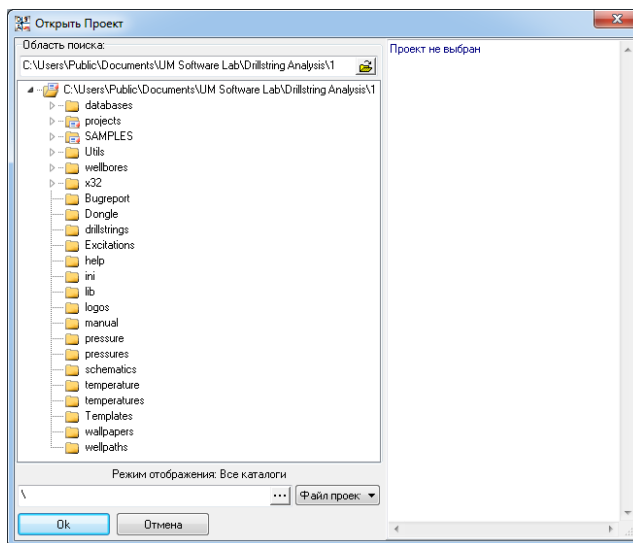
Запуск приложения в режиме **Продвинутый пользователь** или **Разработчик** и переключение в эти режимы в процессе работы с приложением требует ввода пароля. Если введен неверный пароль, интерфейс переходит в режим **Пользователь**.

¹ Пароль для включения режима доступа **Продвинутый пользователь** - «DSA»

1.1.4. Рабочий каталог

Приложение Drillstring Analysis использует путь к рабочему каталогу для поиска баз данных, вспомогательных файлов и хранения файлов проектов.. По умолчанию *Рабочий каталог* помещается в директорию *C:\Documents and Settings\All Users\Documents\UM Software Lab\Drillstring Analysis\I* для Windows XP и в директорию *c:\Users\Public\Documents\UM Software Lab\Drillstring Analysis\I* для Windows 7, 8, 10.

Содержимое *Рабочего каталога*:



Options.ini – Файл настроек интерфейса;

Databases – Базы данных материалов, пород, жидкостей, эл-тов колонны;

Projects – Каталог расчетных проектов (по умолчанию);

Samples – Каталог примеров расчетных проектов;

*Wellpaths * – Каталог описаний траекторий скважины (по умолчанию);

Wellbores – Каталог описаний конструкции скважины (по умолчанию);

Drillstrings – Каталог описаний компоновок низа и верхней части колонны;

Excitations – Каталог описаний кинематических и силовых возмущений;

Pressures – Каталог описаний распределения давлений;

Temperatures – Каталог описаний распределения температур;

Schematics – Каталог схематических изображений деталей;

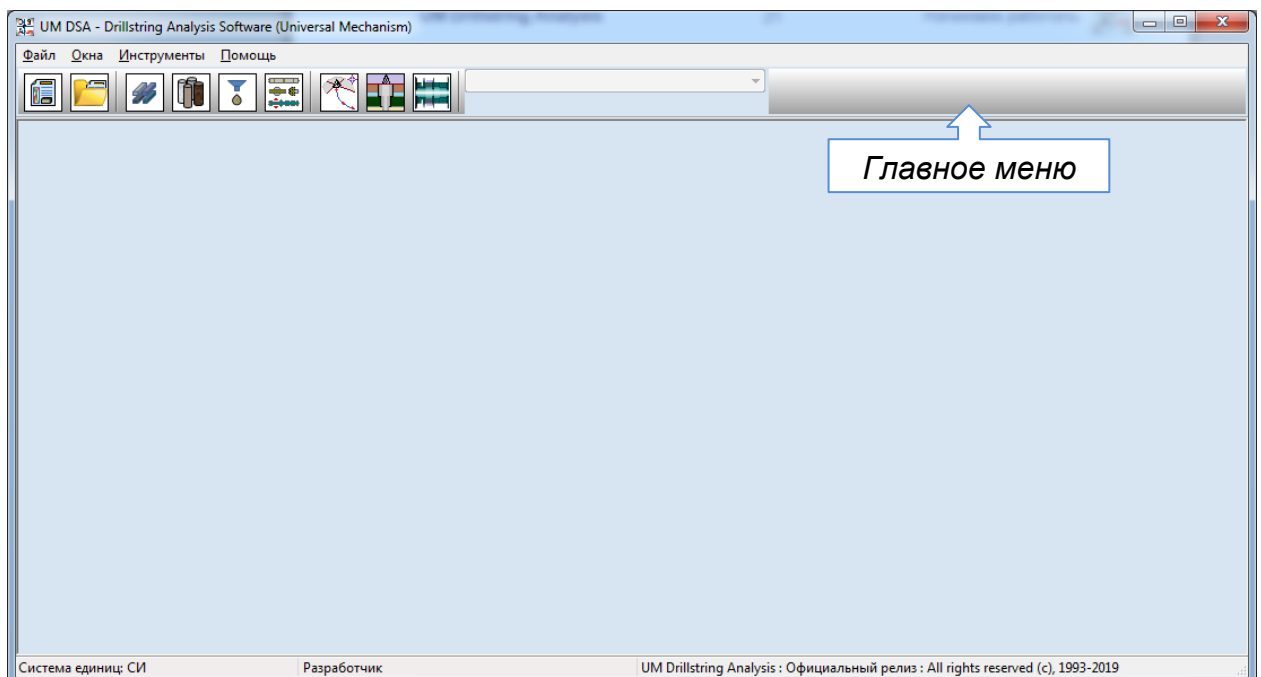
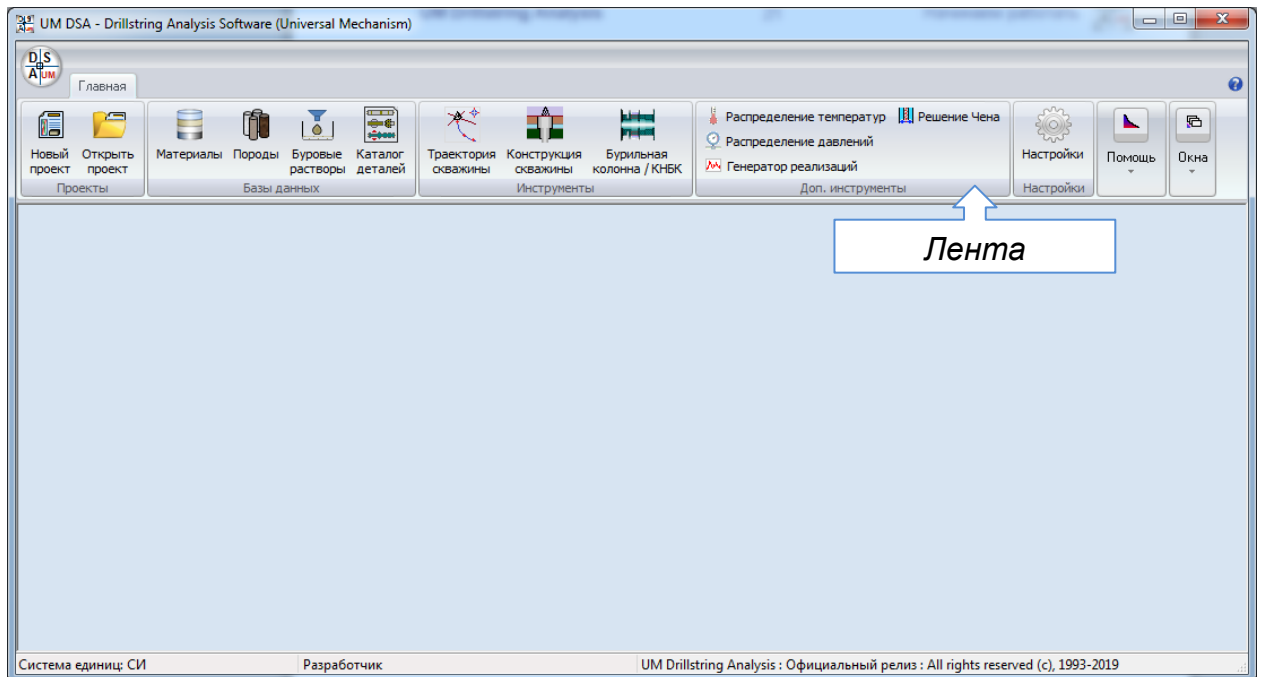
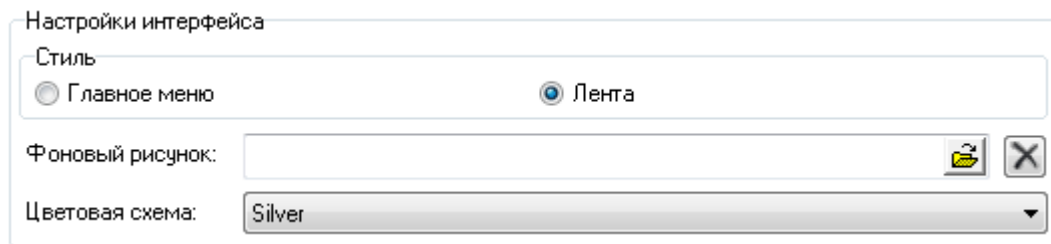
Wallpapers – Каталог изображений для заставок рабочего стола;

Manual – Каталог файлов документации;

Utils\, Templates\, ini\, help\, logos\, umentities\, x32\, etc. – Каталоги вспомогательных файлов.

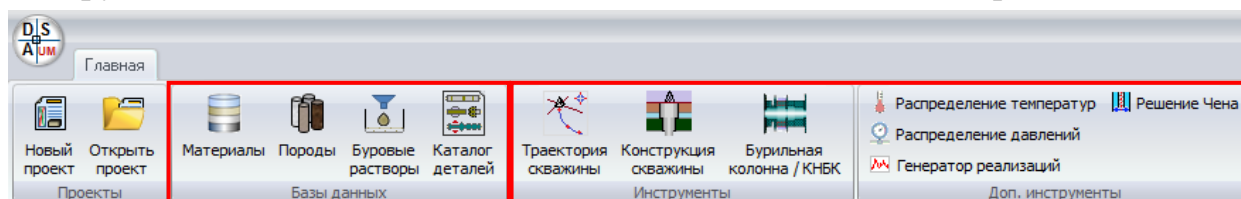
1.1.5. Стиль интерфейса

Пользователь может настроить внешний вид приложения: выбрать стиль главного меню, заставку рабочего стола и цветовую схему приложения.



1.2. Базы данных и инструменты

Приложение UM DSA включает набор специализированных баз данных и инструментов для описания исходных данных без создания *Проекта*.



➤ Базы данных: Информация, используемая при описании исходных данных в окне проекта и отдельных инструментах.

- БД материалов
- БД пород
- БД растворов
- БД деталей колонны

Для работы с БД материалов, пород и буровых растворов используется единый интерфейс; базы данных отличаются только набором параметров. Интерфейс БД деталей колонны имеет свои особенности.

➤ Инструменты: Специализированные инструменты для описания элементов исходных данных *Проекта* без создания окна проекта; заранее подготовленные элементы могут быть использованы для быстрой подготовки расчетного проекта.

- Редактор траектории скважины
- Редактор конструкции скважины
- Редактор компоновок КНБК и верхней части колонны

Внимание! Интерфейс редакторов аналогичен инструментам описания данных в *Окне проекта* (см. Раздел 1.3.4).

➤ Дополнительные инструменты: Инструменты подготовки исходных данных, использующихся для некоторых типов анализа, без создания расчетного проекта, а также дополнительные средства анализа.

- Распределение температур – Инструмент описания распределение температур вдоль ствола скважины
- Распределение давлений – Инструмент описания распределений внутреннего и наружного давлений для бурильной колонны

- Генератор реализаций – Генератор зависимостей величины от времени для описания силовых возмущений на колонне.
- Решение Чена – Инструмент оценки внешнего демпфирования бурового раствора для трубы, совершающей гармонические колебания в цилиндрической скважине (в соответствии с решением Чена [2]).

1.2.1. БД материалов, пород, буровых растворов

Интерфейс описания БД отличается только набором параметров.

Форма БД

Каждая БД содержит ряд элементов, редактирование которых запрещено для пользователя¹. При необходимости изменить параметры следует добавить новый элемент БД (+) или скопировать существующий (+). Элементы, добавленные пользователем доступны для редактирования и удаления (-).

Интерфейс БД представлен таблицей элементов. Закладки **Все**, **База поставки** и **Добавленные** позволяют отображать в списке только соответствующие элементы.

Справочник материалов

Все | База поставки | Добавленные

№	Название	Комментарий	Цвет	Плотность, кг/м ³	Е, ГПА	G, ГПА	ν _и	TEC, 1/С	TE, Дж/(кг*К)
21	Сталь 40	Сталь (по умолчанию)		7850	220	86.27	0.275	1.3E-05	500
22	J-55	Сталь (по умолчанию)		7850	200	86.27	0.3	1.3E-05	500
23	K-55 (Д)	Сталь (по умолчанию)		7850	200	86.27	0.3	1.3E-05	500
24	N-80 (Е)	Сталь (по умолчанию)		7850	200	86.27	0.3	1.3E-05	500
25	L-80	Сталь (по умолчанию)		7850	200	86.27	0.3	1.3E-05	500
26	C-90	Сталь (по умолчанию)		7850	200	86.27	0.3	1.3E-05	500
27	T-95	Сталь (по умолчанию)		7850	200	86.27	0.3	1.3E-05	500
28	C-95	Сталь (по умолчанию)		7850	200	86.27	0.3	1.3E-05	500
29	R-95	Сталь (по умолчанию)		7850	200	86.27	0.3	1.3E-05	500
30	P-110	Сталь (по умолчанию)		7850	200	86.27	0.3	1.3E-05	500
31	C-110	Сталь (по умолчанию)		7850	200	86.27	0.3	1.3E-05	500
32	ТМК-С	Сталь (по умолчанию)		7850	200	86.27	0.3	1.3E-05	500
33	110CrNi	Сталь (по умолчанию)		7850	200	86.27	0.3	1.3E-05	500
34	Q-125	Сталь (по умолчанию)		7850	200	86.27	0.3	1.3E-05	500
35	ТМК-135 (Q135)	Сталь (по умолчанию)		7850	200	86.27	0.3	1.3E-05	500
36	ТМК-140	Сталь (по умолчанию)		7850	200	86.27	0.3	1.3E-05	500
37	ТМК-150	Сталь (по умолчанию)		7850	200	86.27	0.3	1.3E-05	500

Число элементов: 37

Закреть

¹ Изменения разрешены только в режиме Разработчик

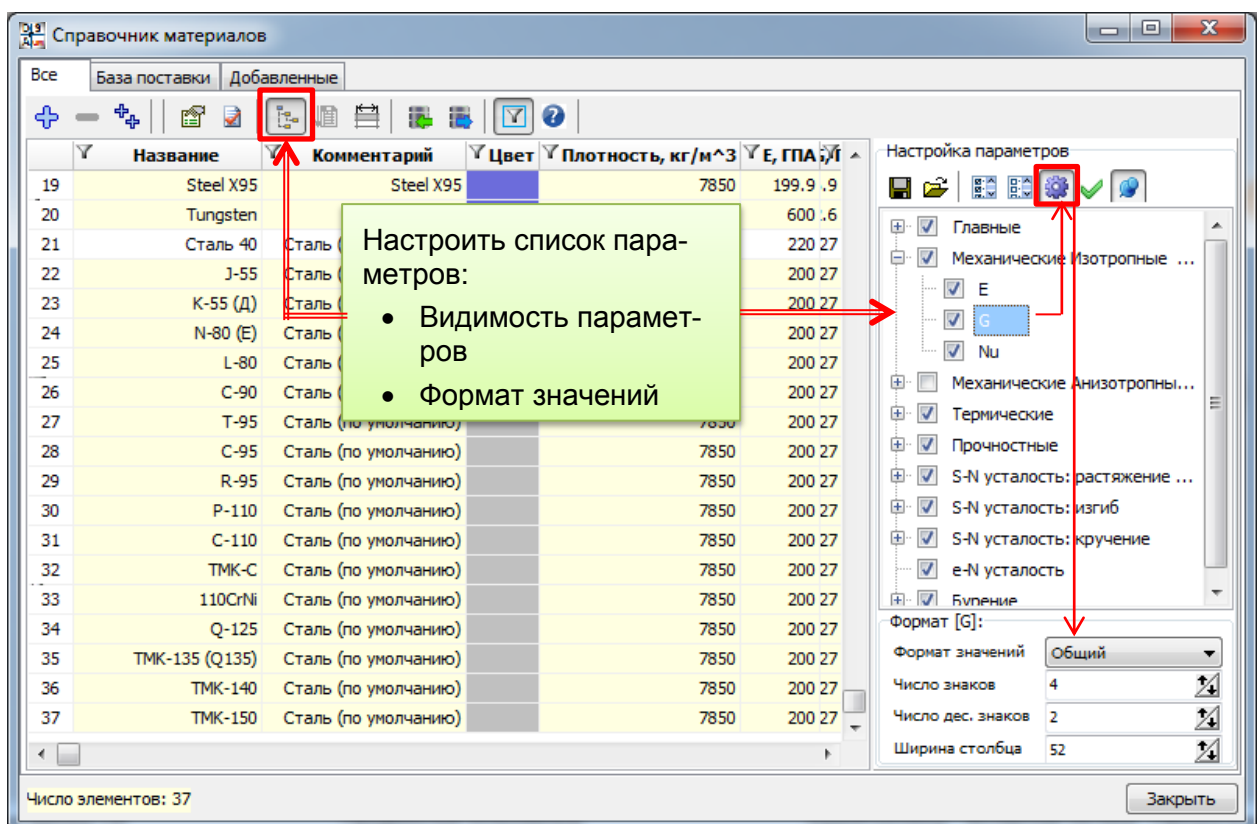
Для сортировки элементов по значению параметра необходимо выбрать соответствующий столбец и нажать . Используйте кнопку для автоматического выравнивания столбцов; нажмите для активации режима подсказки. Для проверки корректности описания элементов БД нажмите .

Используйте кнопку для активации режима дополнительной фильтрации БД; нажмите на заголовок столбца для задания списка необходимых значений параметра (аналогично интерфейсу MS Excel).

Импорт () и экспорт () данных доступен в режиме *Продвинутого пользователя*.


Интерфейс БД позволяет выбрать список параметров для отображения в таблице (в виде столбцов); эта опция очень полезна при большом количестве параметров элемента.

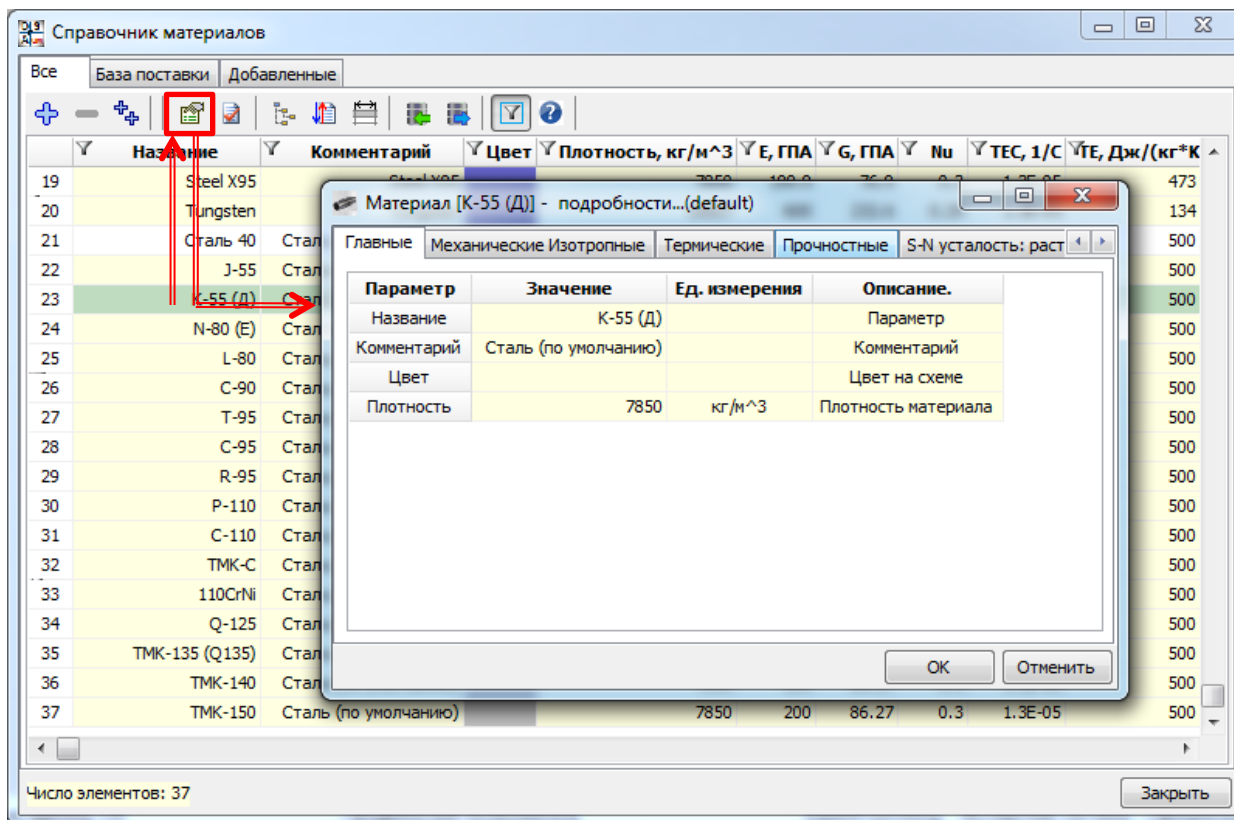
Нажмите для отображения окна **Настройка параметров**, в котором можно задать видимость параметров и настроить формат вывода численных значений .



Параметры сгруппированы по категориям; пользователь может скрыть/показать все элементы категории разом.

Карточка элемента БД

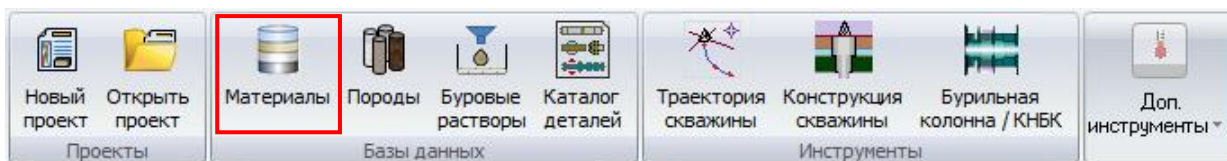
Дважды щелкните на строчке с интересующим Вас элементом или выберите его в таблице и нажмите кнопку , чтобы показать параметры элемента в отдельном окне.



Нажмите **Ок** для сохранения изменений в описании элемента, **Отменить** - для выхода без сохранения.

1.2.1.1. Справочник материалов

Справочник материалов храниться в файле *MaterialDB.mtl* в директории *Рабочий каталог\Databases*. Данные загружаются при запуске приложения.



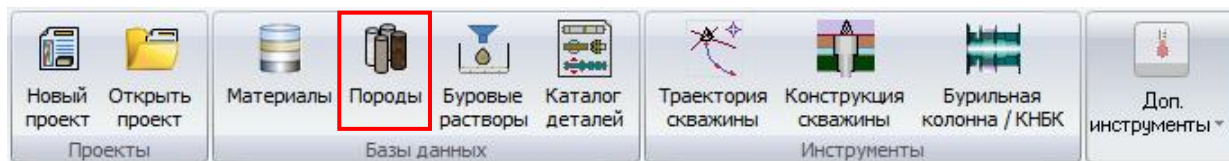
Список параметров

БД материалов содержит большое количество параметров; краткий список величин, применяемых при описании моделей для различных типов анализа, приведен ниже.

Параметр	Размерность		Описание
	СИ	Imp	
<i>Общие</i>			
Название			Уникальное название.
Цвет			Цвет для отображения на графических схемах.
Плотность	кг/м ³	Lbm/ft ³	Плотность материала.
<i>Механические изотропные</i>			
Модуль упругости	ГПа	Ksi	Модуль упругости материал
Коэф. Пуассона			
<i>Термические</i>			
ТЕС	1/С	1/F	Коэф. линейного расширения

1.2.1.2. Справочник пород

Справочник пород хранится в файле *FormationDB.fdb* в директории *Рабочий каталог\Databases*. Данные загружаются при запуске приложения.



№	Название	Комментарий	Цвет	Плотность, кг/м ³	E, ГПа	ν	Прочность на сжатие, МПа
1	Andesite			2700	60.2	0.22	98
2	Basalt			2800	25	0.3	50
3	Chalk			1700	20	0.35	5
4	Chert			2540	72	0.3	300
5	Clay			1900	0.1	0.2	0.7
6	Coal			1370	1.2	0.36	14.32
7	Dolerite			2780	50	0.25	140
8	Dolomite			2670	8.5	0.26	81.9
9	Gabbro			2700	40	0.15	175
10	Gneiss			3000	45	0.1	200
11	Granite			2700	60	0.2	175
12	Gravel			2000	0.17	0.2	90.2
13	Gypsum			2850	0	0	90.2
14	Limestone lt Formation = Limestone			2700	35	0.265	140
15	Marble			2800	60	0.14	47.5
16	Marl			2600	15	0.2	80
17	Metamorphic			3000	45	0.11	200
18	Phyllite			2780	1.25	0.2	9.5

Число элементов: 32

Список параметров

БД пород содержит большое количество параметров; краткий список величин, применяемых при описании моделей для различных типов анализа, приведен ниже.

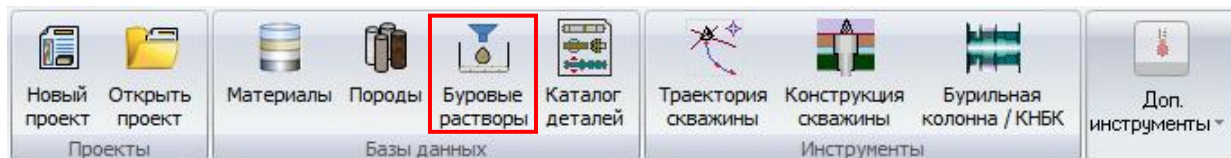
Параметр	Размерность		Описание
	СИ	API	
<i>Общие</i>			
Название			Уникальное название.
Цвет			Цвет для отображения на графических схемах.
Модуль упругости	МПа	psi	Модуль упругости породы.
Коэфф. Пуассона			Отношение поперечной деформации к продольной при осевом нагружении образца.
Плотность	кг/м ³	Lbm/фт ³	Плотность породы.



<i>Параметры RGD модели PDC долота</i>			
Специфическая прочность породы (epsilon)	МПа	psi	Параметр <i>Специфическая прочность породы</i> , входящий в RGD модель резания породы долотом (см. Раздел 0).
Напряжение в контакте с резцом (sigma)	МПа	psi	Параметр <i>Напряжение в контакте с резцом</i> , входящий в RGD модель резания породы долотом (см. Раздел 0).

1.2.1.3. Справочник буровых растворов

Справочник буровых растворов храниться в файле *FluidDB.ldb* в директории *Рабочий каталог\Databases*. Данные загружаются при запуске приложения.



Справочник буровых растворов

База поставки | Добавленные

№	Название	Комментарий	Цвет	Плотность (статика), кг/м ³
1	Drilling Fluid	Default Fluid = Mud	Red	1400
2	Air	Air	Green	1.1983
3	Diesel	Diesel	Olive	800.44
4	Mineral Oil	Mineral Oil = Mud	Blue	934.65
5	Silicone Oil	Silicone Oil	Purple	956
6	Water	Water	Grey	1000
7	Fluid_1	Default Fluid = Mud	Red	1400
8	12345	Default Fluid = Mud	Red	1400
9	Air_SampleHydraulics	Air	Green	1.1983
10	DF_NJB	Default Fluid = Mud	Red	1400
11	Drilling Fluid_new	Default Fluid = Mud	Red	1400
12	Air_new	Air	Green	1.1983
13	Mineral Oil_new	Mineral Oil = Mud	Blue	934.65
14	Drilling Fluid_hyd-05-02	Default Fluid = Mud	Red	1400

Число элементов: 14

Заккрыть

Список параметров

БД растворов содержит большое количество параметров; краткий список величин, применяемых для различных типов анализа, приведен ниже.

Параметр	Размерность		Описание
	СИ	API	
<i>Общие</i>			
Название			Название
Цвет			Цвет
Плотность	кг/м ³	Lbm/ft ³	Плотность раствора
<i>Механические</i>			
Динамическая вязкость	Па · сек	cP	Динамическая (или абсолютная) вязкость жидкости: cP = 0.01P = 1 мПа·сек = 0.001 Па·сек.

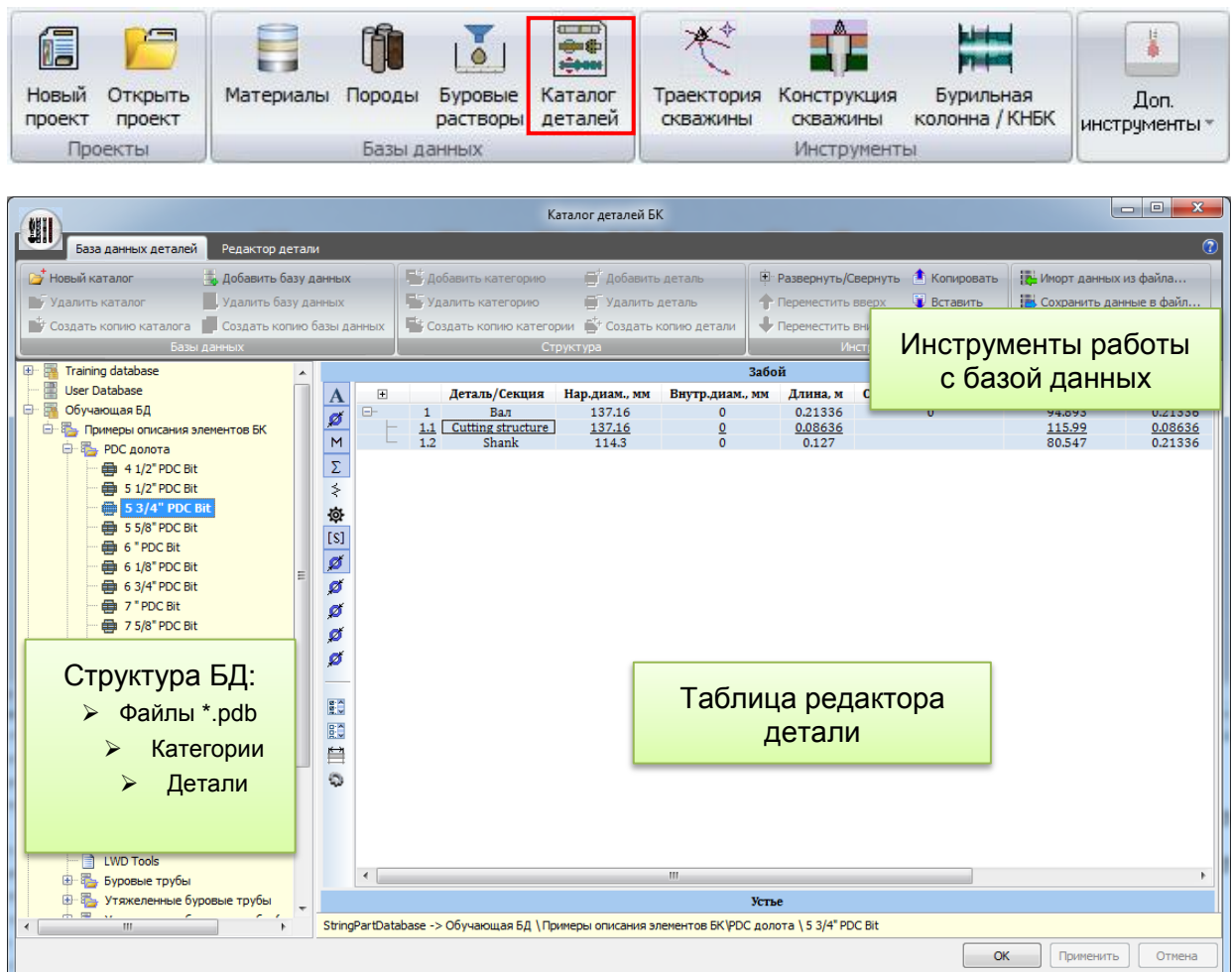
1.2.1. База данных деталей

Интерфейс приложения позволяет описывать компоновку колонны, как последовательности отдельных деталей, которые могут быть взяты из существующих баз данных или описаны при помощи *Редактора деталей*.

Интерфейс БД деталей

Наборы элементов базы данных (отдельные справочники) хранятся в файлах с расширением **.pdb* в директории *Рабочий каталог\Databases\StringPartDatabase* и ее подкаталогах. Данные загружаются при запуске приложения.

Директория *StringPartDatabase* по умолчанию содержит файл *Обучающая БД.pdb*, содержащий описания элементов недоступных для редактирования, и файл *Пользовательская БД.pdb* – доступный для редактирования.























Для удобства навигации структура базы данных представлена в виде дерева на левой панели. В древе отображаются файлы справочников (📁), и их содержимое: категории деталей (📁) и детали (📄).

Доступ к описанию структуры БД и характеристик отдельных деталей осуществляется при помощи Главное меню окна.

Редактирование структуры БД

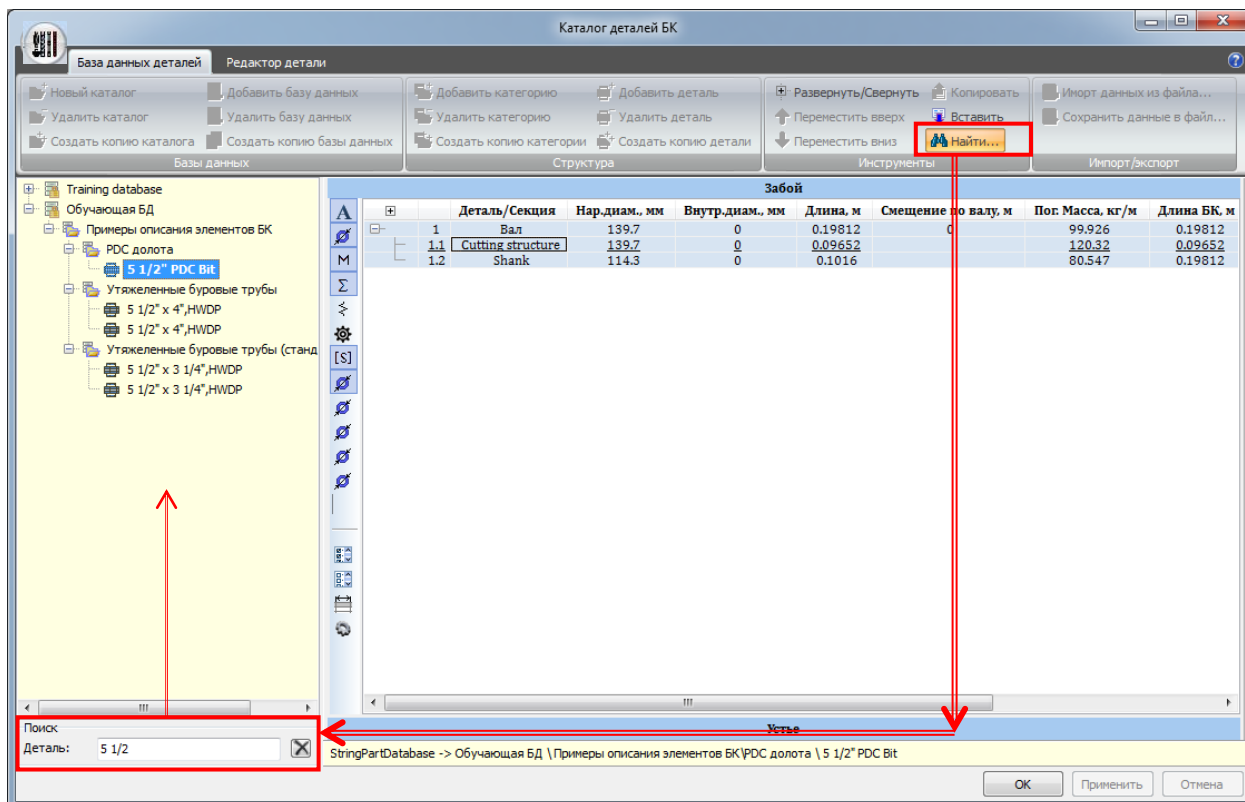
Инструменты для редактирования структуры БД доступны на закладке **База данных деталей** главного меню окна:

-  - добавить новый каталог;
-  - удалить выбранный каталог со всем содержимым;
-  - создать копию выбранного каталога и поместить ее рядом ¹;
-  - добавить новый справочник в выбранный каталог;
-  - удалить выбранный справочник со всем содержимым;
-  - создать копию выбранного справочника и поместить ее рядом ¹;
-  - добавить подкатегорию в выбранной категории;
-  - удалить выбранную категорию со всем содержимым;;
-  - создать копию выбранной категории и поместить ее рядом ¹;
-  - добавить новую деталь;
-  - удалить выбранную деталь;
-  - создать копию выбранной детали;
-  - свернуть/развернуть ветви дерева БД;
-  - переместить узел выше;
-  - переместить узел ниже;
-  - копировать узел в буфер обмена;
-  - вставить ранее скопированный узел со всем содержимым;
-  - включить/выключить *Режим поиска*
-  - импортировать данные из файла справочника *.pdb в текущую категорию;
-  - экспортировать данные текущей категории в файл справочника *.pdb.

¹ Доступен только в режиме Разработчика

Режим поиска

При активации Режимы поиска в нижней части дерева появляется окно **Поиск**. Дерево элементов БД отображает только детали, имеющие те же начальные символы в названии.



Редактирование параметров детали

Параметры выбранной детали отображаются на правой панели; инструменты редактирования расположены на вкладке **Редактор детали** главного меню.

1.2.1.1. Обобщенное описание детали колонны

Для инженерного описания элементов колонны используется обобщенная модель, применяющаяся для всех типов деталей – от бурильных труб до систем управления направлением проходки и напорных двигателей. Описание обобщенной модели приведено в Разделе 3.2.1.

1.2.1.2. Редактор описания детали

Инструмент *Редактор детали* позволяет создавать математические модели разнообразного бурильного инструмента в рамках единого описания: долота, буровые трубы, стабилизаторы и т.д.

Внимание: Создание моделей напорных двигателей, систем управления направлением проходки и прочих специализированных инструментов не рассматривается в данном руководстве.

Забой

Деталь/Секция	Описание	Тип	Нар.диам., мм	Внутр.диам., мм	Конт.диам., мм	Длина, м	Смещение по валу, м
1 Вал			209.55	114.3	209.55	9.1135	0
1.1		Однородная	209.55	114.3	209.55	0.65532	
1.2		Однородная	168.28	114.3	168.28	3.6576	
1.3		Однородная	177.8	114.3	177.8	0.6096	
1.4		Однородная	168.28	114.3	168.28	3.6576	
1.5		Однородная	209.55	114.3	209.55	0.5334	

Редактор детали:

- Таблица секций детали
- Инструменты описания параметров детали
- Схема детали (опционально)
- Продольное сечение (опционально)

Устье

1002

Продольное сечение БК

Диаметр, мм

Расстояние от долота, м

StringPartDatabase -> Обучающая БД \Training units\Утяжеленные трубы \6 5/8" HWDP

OK Применить Отмена

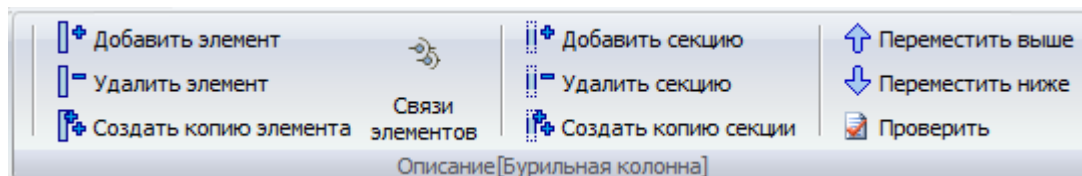
Внимание! Изменение описания деталей возможно только в справочниках доступных для редактирования.

Интерфейс Редактора детали

Интерфейс включает несколько элементов:

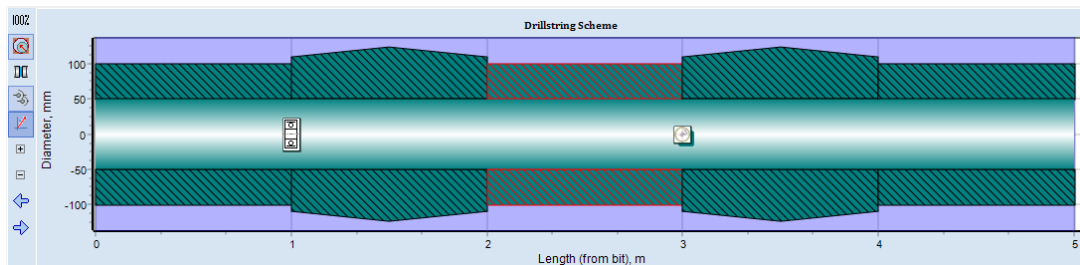
➤ Главное меню

На главном меню расположены основные и вспомогательные инструменты описания структуры детали и средств отображения данных:



- добавить новую секцию;
- удалить секцию;
- создать копию секции;
- переместить секцию к нижней части детали;
- переместить секцию к верхней части детали;
- проверить описание детали.

Продольное сечение детали обновляется интерактивно, по мере добавления секций и изменения их параметров.



➤ Таблица параметров



Таблица используется для представления и редактирования параметров модели детали; поля доступные для редактирования имеют белый цвет фона.

Забой							
	Деталь/Секция	Нар.диам., мм	Внутр.диам., мм	Длина, м	Смещение по валу, м	Пог. Масса	
1	Вал	123.83	57.15	9.4488	0	45.93	
1.1	Connection	123.83	57.15	0.6604		73.9	
1.2	Elevator Upset	92.075	57.15	1.1684		31.93	
1.3	Central Upset	101.6	57.15	6.604		43.23	
1.4	Body	88.9	57.15	0.2794		28.41	
1.5	Connection	123.83	57.15	0.7366		73.9	

Для удобства работы с таблицей можно использовать Настройку отображения параметров (кнопка на левой вертикальной панели), либо кнопки быстрого доступа к категориям параметров модели.

Забой					
	Деталь/Секция	Нар.диам., мм	Внутр.диам., мм	Длина, м	Смещ
1	Вал	123.83	57.15	9.4488	
1.1	Connection	123.83	57.15	0.6604	
1.2	Elevator Upset	92.075	57.15	1.1684	
1.3	Central Upset	101.6	57.15	6.604	
1.4	Body	88.9	57.15	0.2794	
1.5	Connection	123.83	57.15	0.7366	

Список параметров

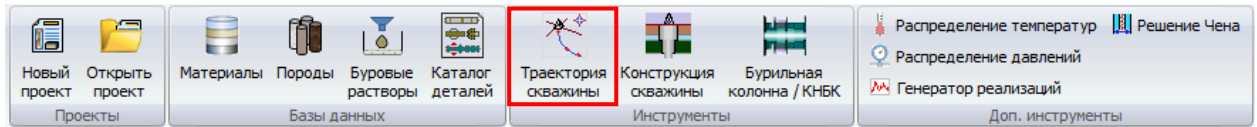
Параметр	Размерность		Описание
	SI	Imp	
Категория <i>Общие</i> - 			
Деталь/секция			Название детали.
Описание			Описание детали.
Количество			Число экземпляров детали В <i>Редакторе деталей</i> значение всегда равно единице.
Категория <i>Геометрия</i> - 			
Тип			Тип секции: <i>Однородная или С лезвиями.</i>
OD	мм	дюйм	Секция: наружный диаметр секции. Элемент: максимальный наружный диаметр.
ID	мм	дюйм	Секция: внутренний диаметр секции. Элемент: минимальный внутренний диаметр.
CD	мм	дюйм	Секция: контактный диаметр секции. Элемент: максимальный контактный диаметр. Замечание: Для однородной секции контактный диаметр равен наружному; для секции с лезвиями – параметр задается отдельно.
Длина	м	фут	Длина секции
Смещение	м	фут	Расстояние от нижней точки <i>внешнего элемента</i> (для составных деталей) до нижней точки первого элемента детали (<i>Вала</i>). Замечание: Параметр <i>Смещение</i> может быть задан только для внешних элементов детали (для <i>Вала</i> значение по умолчанию равно нулю).

Категория <i>Инерция</i> - M .			
Материал			<p>Материал секции.</p> <p>Материал может быть задан для секции или детали в целом.</p> <p>Если для всех секций назначен одинаковый материал, его название отображается в строке детали.</p> <p>Замечание: Материал выбирается из справочника материалов; при отсутствии подходящего элемента БД необходимые материал должен быть предварительно добавлен в базу данных.</p>
Пог. масса	кг /м	lbm/фу т	<p>Погонная масса секции/детали.</p> <p>Погонная масса секции рассчитывается автоматически по плотности материала и геометрии поперечного сечения.</p> <p>Погонная масс детали рассчитывается как масса всех секций, деленная на длину детали.</p>
Масса	кг	lbm	<p>Масса секции/детали.</p> <p>Масса секции рассчитывается автоматически по плотности материала и геометрии секции.</p> <p>Масса детали складывается из масс секций.</p> <p>Замечание: <i>Погонная массas</i> и <i>Масса</i> для секции или детали может быть задана вручную в режиме Продвинутого пользователя. Для этого необходимо выбрать соответствующую строку в таблице и отключить флажок Авторасчет массы во всплывающем меню.</p> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px; margin-top: 5px;"> <input checked="" type="checkbox"/> Авторасчет массы </div>
Категория <i>Сводка</i> - Σ			
Полная длина	м	фут	<p>Накопленная длина:</p> <ul style="list-style-type: none"> Секция: расстояние от нижней точки детали до верхней точки секции. Элемент: расстояние от нижней точки детали до верхней точки элемента.
Полная масса	кг	lbm	<p>Накопленная масса:</p> <ul style="list-style-type: none"> Секция: масса всех секций от нижней точки детали до верхней точки секции. Элемент: масса всех секций элемента.

Категория <i>Жесткость</i> -			
Тип модели			<p>Тип модели элемента:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Упругая модель</i> – секции элемента моделируются упругими однородными балками; • <i>Твердое тело</i> – элемент моделируется абсолютно твердым телом; • <i>3D КЭ модель</i> – элемент задается КЭ моделью (подгружаемой из файла *.fss), подготовленной в соответствии с модальным подходом Крейга-Бэмптона [1].
Пог. осевая жесткость	кПа	ksi	<p>Погонная осевая/изгибная/крутильная жесткость секции/детали.</p> <p>Параметры для секции вычисляются автоматически по характеристикам материала и геометрии секции.</p>
Пог. изгибная жесткость	кН/м ²	kip/фут ²	<p>Значение для детали вычисляется из жесткости и длине секций.</p> <p>Замечание: Погонная осевая/изгибная/крутильная жесткость секции/детали может быть задана вручную в режиме Продвинутого пользователя. Для этого необходимо выбрать соответствующую строку в таблице и отключить соответствующий флажок Авторасчет ... во всплывающем меню.</p>
Пог. крутильная жесткость	кН/град	kip/deg	<p><input checked="" type="checkbox"/> Авторасчет осевой жесткости</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Авторасчет изгибной жесткости</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Авторасчет крутильной жесткости</p>
Категория <i>Безопасность</i> -			
Макс. момент	кН*м	kip*фут т	<p>Значение максимально допустимого момента/осевой силы может быть задано как для секции, так и для детали в целом.</p>
Макс. сила	кН	kip	

1.2.2. Редактор траектории скважины

Редактор траектории позволяет подготовить или изменить описание геометрии оси скважины.






Траектория оси скважины задается набором базовых точек; *извилистость* описывается дополнительно и накладывается на базовый профиль.

Описание траектории может быть сохранено или прочитано из xml файла с расширением (*Wellpath file *.wlp*). По умолчанию файлы описания траектории хранятся в директории *Рабочий каталог\wellpaths*. Поддерживается добавление табличных данных, скопированных из документа MS Excel.

Описание базовых точек

Точки могут задавать последовательно от поверхности к забою в строках таблицы, либо создаваться автоматически по описанию интервалов постоянного набора кривизны (от поверхности, либо от долота, находящегося на заданной глубине).

#	Длина ствола, м	Зенит, град	Азимут, град	Глубина, м	Гориз.смещ., м	С+/Ю-, м	В+/З-, м	Искривление, град/30м
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	144.300	0.000	0.000	144.300	0.000	0.000	0.000	0.000
3	170.000	0.530	145.540	170.000	0.064	-0.098	0.067	0.629
4	191.000	0.620	12.300	190.999	0.005	-0.067	0.146	1.533
5	215.500	0.530	28.820	215.498	-0.238	0.162	0.229	0.234
6	242.000	0.530	42.440	241.997	-0.475	0.360	0.371	0.145
			45.160					0.284
			145.530					0.276
			46.480					0.144
			42.700					0.006
			292.490					0.155
12	418.000	0.090	8.690	417.996	-0.808	0.620	0.611	0.117
13	447.000	0.180	266.380	446.996	-0.810	0.640	0.569	0.229
14	474.000	0.180	272.010	473.996	-0.776	0.639	0.484	0.020
15	503.000	0.350	143.510	502.996	-0.715	0.569	0.491	0.508
16	560.000	0.180	168.560	559.995	-0.552	0.341	0.613	0.108
17	588.000	0.450	130.540	587.994	-0.482	0.227	0.705	0.357
18	600.000	1.400	185.940	599.993	-0.327	0.050	0.726	3.055
19	630.000	4.350	198.250	629.952	1.159	-1.395	0.331	3.045
20	660.000	7.340	200.580	659.793	4.209	-4.270	-0.699	3.047
21	690.000	10.340	201.560	689.433	8.817	-8.569	-2.362	3.052

Пользователь может добавлять , удалять  или дублировать  точки, а также редактировать их параметры в строках таблицы.

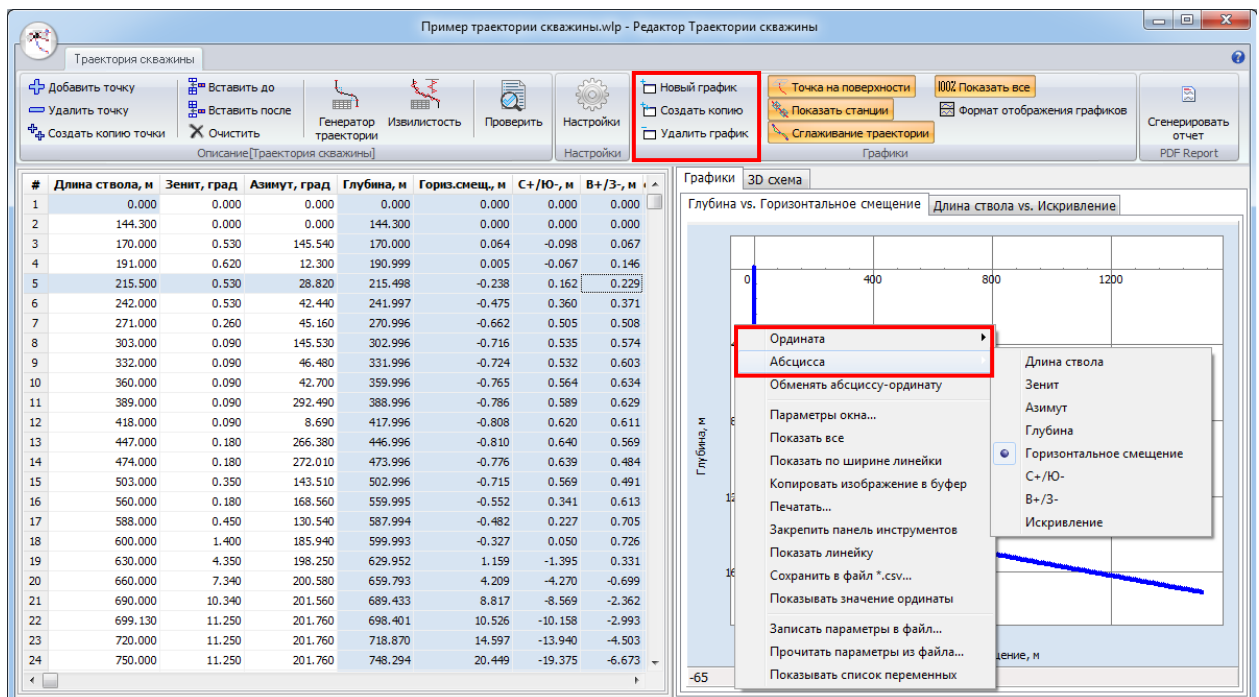
Траектория задается путем редактирования значений *Длины ствола*, *Уклона* и *Азимута*.

TVD, *VSEC*, *N+/S-*, *E+/W-* и *Dogleg* параметры рассчитываются автоматически, в соответствии с методом наименьшей кривизны [3].

Описываемая траектория автоматически отображается на графиках, расположенных справа от таблицы:

► Графики

Все табличные параметры могут автоматически отображаться на графиках. Пользователь может добавить (+), удалить (-), создать копию графика(к), и настроить параметры, откладываемые по осям, с помощью всплывающего меню.

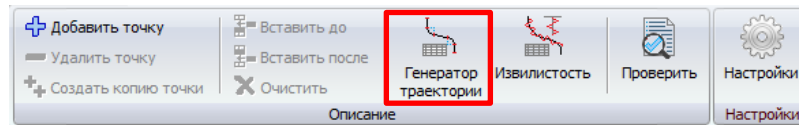


Интерфейс поддерживает следующие опции отображения графиков:

- добавить точку на поверхности (если первая базовая точка не лежит на поверхности, $MD \neq 0$);
- выделить базовые точки (показать маркеры базовых точек);
- показать сглаженные графики; добавить на графики промежуточные точки между базовыми, в соответствии с аппроксимацией по методу наименьшей кривизны;
- автоматический выбор масштаба (показать все) для графиков;
- переключение между режимами отображения графиков: один график на закладке, либо несколько графиков на одной панели.

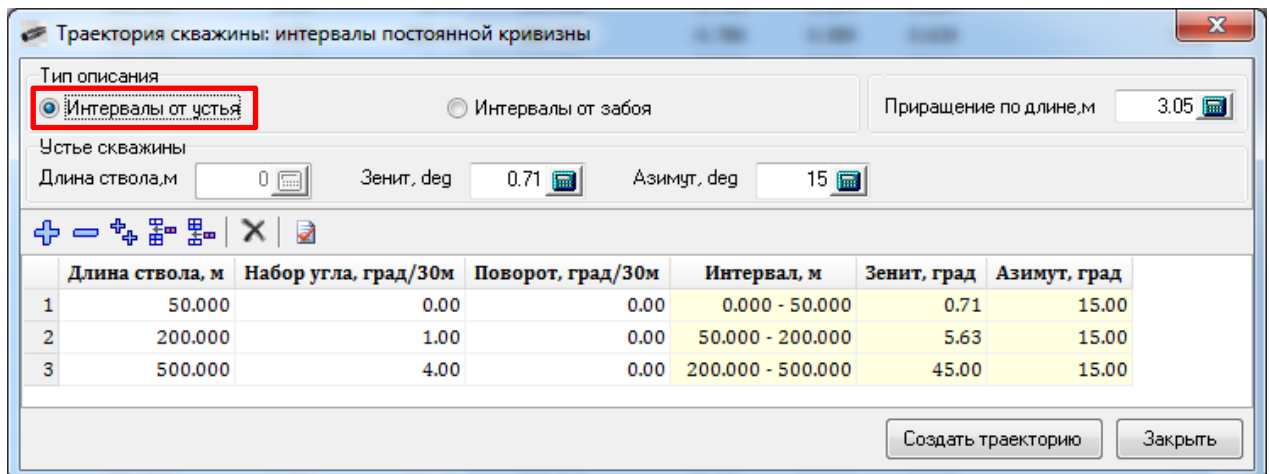
Добавление интервалов постоянной кривизны

Траектория скважины может быть описана набором интервалов постоянной кривизны, заданных как от поверхности, так и от выбранной точки забоя.

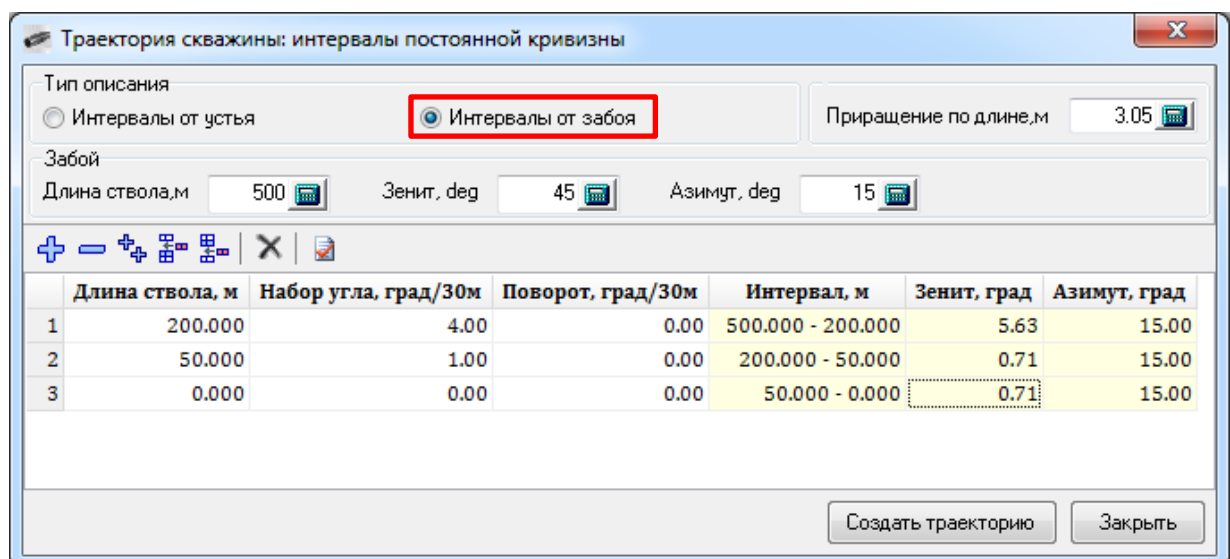


Инструмент **Генератор траектории** позволяет создать список интервалов, каждый из которых задается длиной ствола в конечной точке, скоростями изменения зенитного угла и азимута по длине и шагом по длине ствола между создаваемыми точками (**Приращение по длине**).

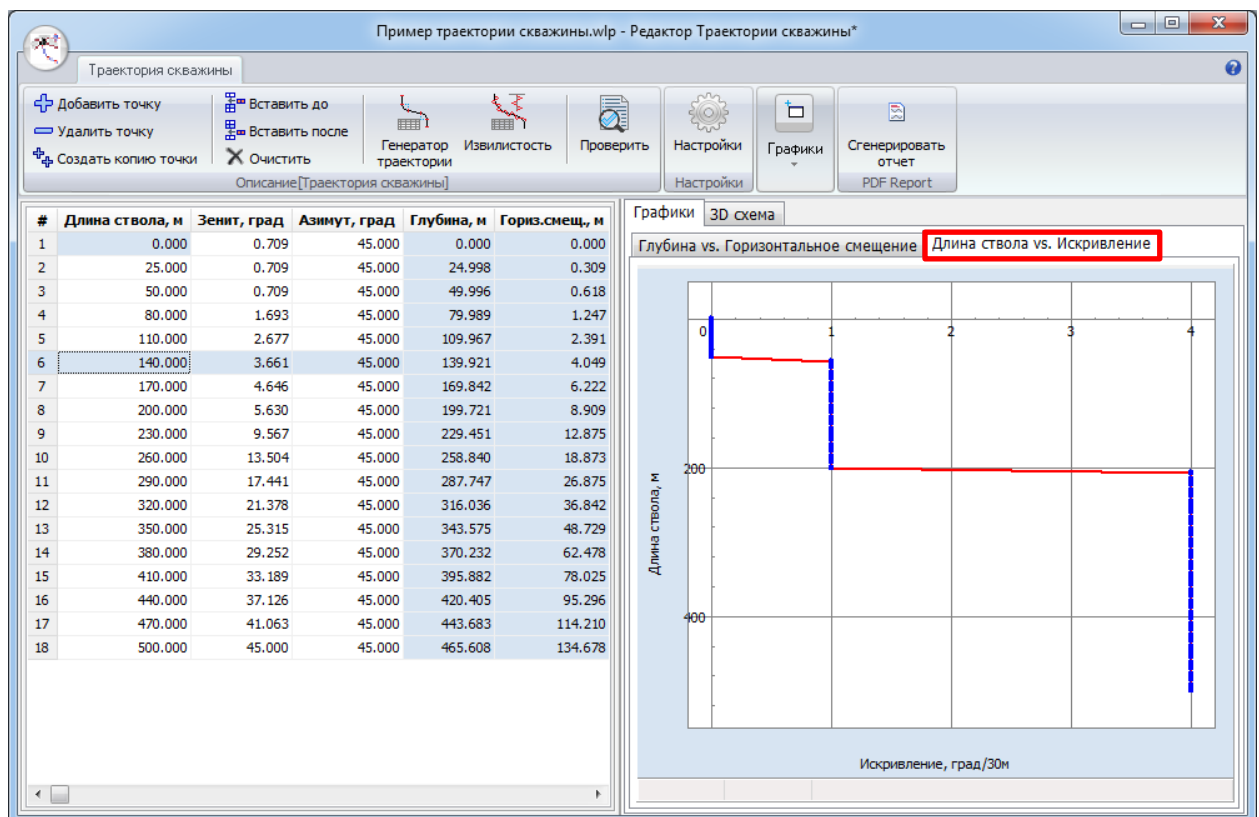
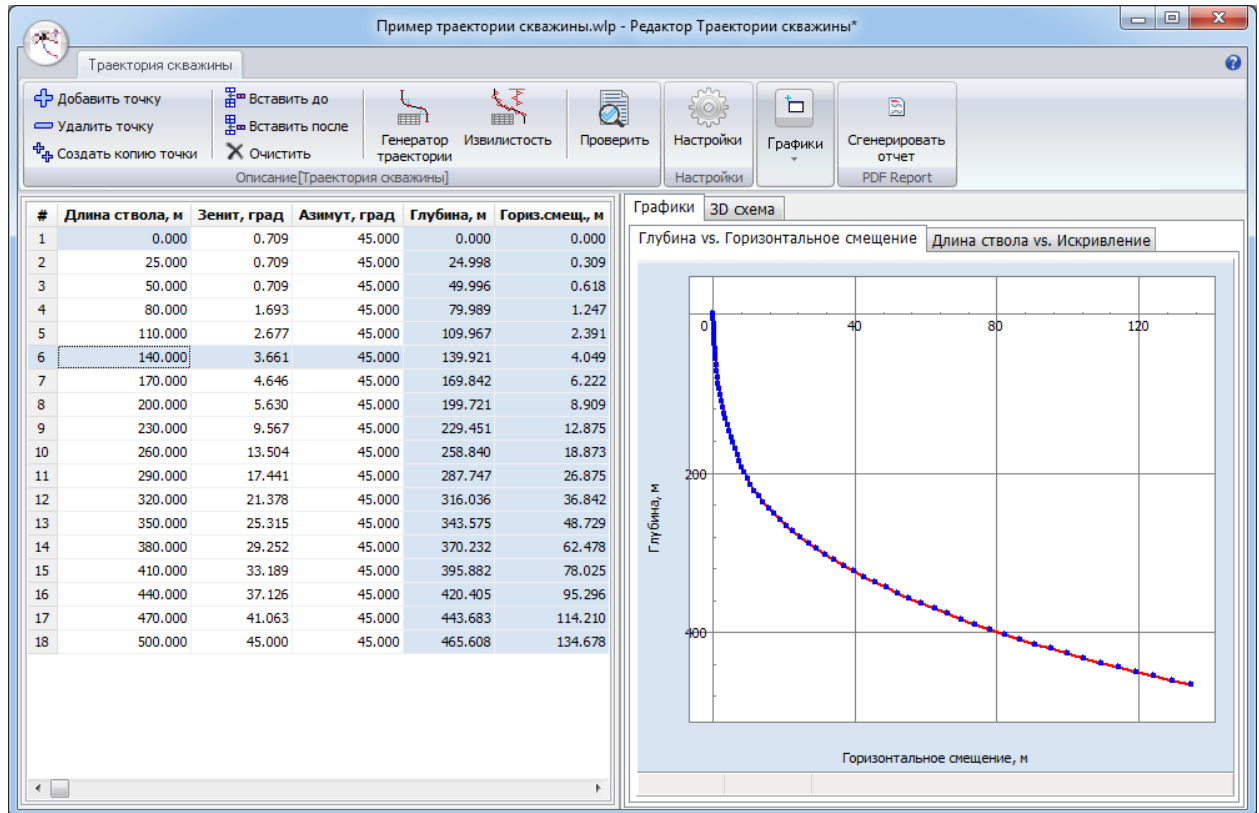
При задании интервалов от устья (поверхности) указывается **Зенит** и **Азимут** в устье, а длины интервалов определяются длиной ствола в нижней точке.



При задании интервалов от забоя указываются **Длина ствола**, **Зенит** и **Азимут** в точке забоя, длины интервалов определяются длиной ствола в верхней точке.



Нажмите кнопку **Создать траекторию** для автоматического добавления базовых точек согласно описанию.



Искривление ствола

Траектория скважины задается последовательностью базовых точек; при этом возможен учет интервалов извилистости – интервалов гармонической вариации зенита и азимута по длине скважины (вариаций углов в базовых точках суммируются с исходно заданными значениями углов).

Нажмите кнопку **Извилистость** головного меню для учета интервалов извилистости; список интервалов отобразится в таблице, расположенной ниже списка базовых точек.


#	Длина ствола, м	Зенит, град	Азимут, град	Глубина, м	Гориз.смещ., м
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	144.300	1.753	1.753	144.277	-2.051
3	170.000	-4.225	140.785	169.943	-2.873
4	191.000	-2.059	9.621	190.925	-2.870
5	215.500	4.665	32.955	215.404	-3.422
6	242.000	2.939	44.849	241.845	-5.112
7	271.000	-4.583	40.317	270.821	-4.696
8	303.000	1.027	146.467	302.783	-3.317
9	332.000	4.614	51.004	331.751	-4.211
10	360.000	-2.849	39.761	359.728	-4.528
11	389.000	-3.097	289.303	388.706	-3.885
12	418.000	4.614	13.214	417.663	-5.083
13	447.000	1.117	267.317	446.632	-6.113
14	474.000	-4.810	267.020	473.606	-6.491
15	503.000	1.287	144.447	502.564	-6.898
16	560.000	-2.759	165.621	559.547	-7.615
17	588.000	-2.973	127.117	587.515	-8.323
18	600.000	1.400	185.940	599.509	-8.250
19	630.000	9.105	203.005	629.362	-5.532
20	660.000	4.401	197.641	659.145	-2.009
21	690.000	7.401	198.621	688.983	1.055

#	От, м	До, м	Длина	Зенит	Азимут
1	0	1000	1000	5	100
2	0	1000	1000	5	100
3	1000	1500	500	1	100

Проверка данных

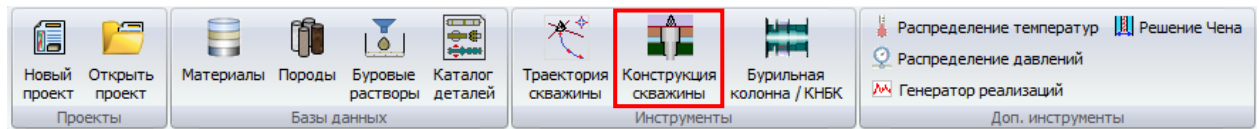
Для проверки описания траектории скважины используйте кнопку **Проверить** головного меню окна редактора.

Создание отчетов

Для представления описания скважины в виде PDF документа воспользуйтесь кнопкой  головного меню окна редактора.

1.2.3. Редактор конструкции скважины




Редактор позволяет подготовить или изменить описание конструкции скважины.



Конструкция скважины описывается набором интервалов различного типа (обсаженный или открытый ствол), имеющих различный внутренний диаметр, коэффициент трения с бурильной колонной, характеристики породы/обсадной колонны; опционально могут быть заданы гидравлические характеристики скважины.

Описание конструкции может быть сохранено или прочитано из xml файла с расширением (*Wellbore file *.wlb*). По умолчанию файлы описания конструкции скважины хранятся в директории *Рабочий каталог\wellbores*.

Описание конструкции скважины

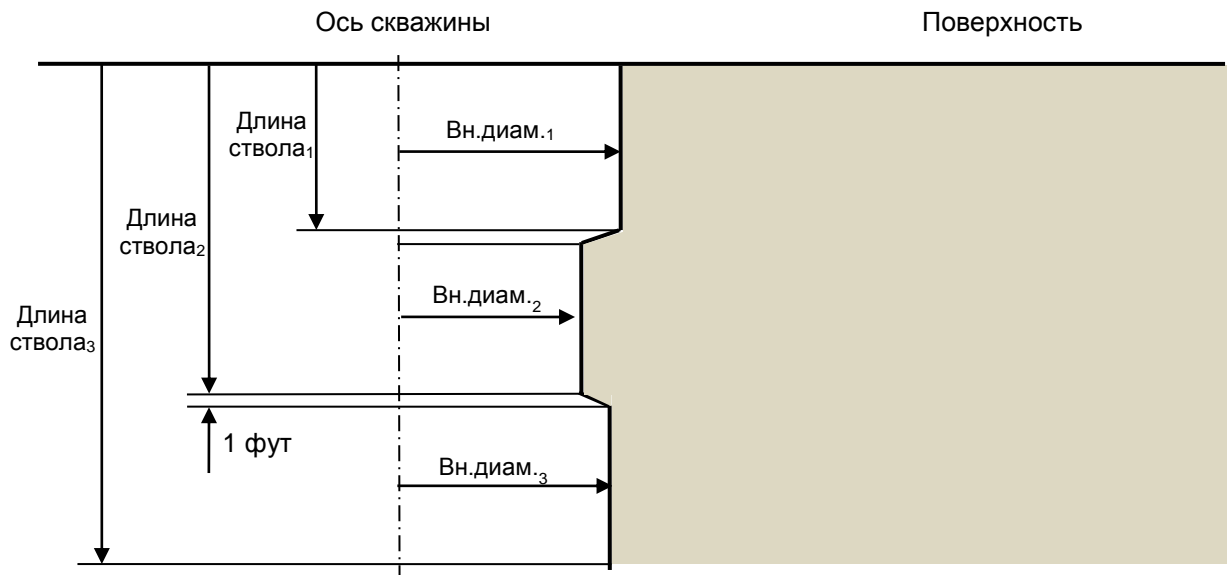
Пользователь может добавлять , удалять  или дублировать  интервалы скважины, а также редактировать их параметры в строках таблицы.

#	Тип интервала	Название	Длина ствола, м	Диаметр, м	Доп. зазор, мм	Коэффициент трения	Материал/Порода
		Устье	0.000	381.000	6.350	0.200	Steel K-55
1	Обсаженный ствол	1	152.400	381.000	6.350	0.200	Steel K-55
2	Открытый ствол	2	457.200	317.500	6.350	0.200	Granite
3	Открытый ствол	3	2133.600	311.200	3.810	0.200	Marble

Интервал описывается *Длиной ствола* в нижней точке, типом (*Обсаженный* или *Открытый ствол*), диаметром скважины (складывается из базового *Диаметра* и *Дополнительного зазора*) и коэффициентом трения в контакте с бурильной колонной. Для обсаженного ствола дополнительно задается *Материал*; *Порода* – для открытого ствола.

Параметры интервалы доступны для редактирования в полях таблицы.

Внутренний диаметр скважины рассчитывается как сумма значений параметров *Внутренний диаметр* и *Дополнительный зазор*. На участках изменения диаметра применяется линейное сглаживание (см. схему).



Информация о конструкции скважины, задаваемая в таблице, автоматически отображается на схеме, расположенной справа.

The screenshot shows the software interface for wellbore construction. The main window title is 'Пример конструкции скважины.wlb - описание буровой колонны'. The interface includes a toolbar with various functions and a data table.


#	Тип интервала	Название	Длина ствола, м	Диаметр, м	Доп. зазор, мм	Коэффициент трения
		Устье	0.000	381.000	6.350	0.200
1	Обсаженный ствол	1	152.400	381.000	6.350	0.200
2	Открытый ствол	2	457.200	317.500	6.350	0.200
3	Открытый ствол	3	2133.600	311.200	3.810	0.200

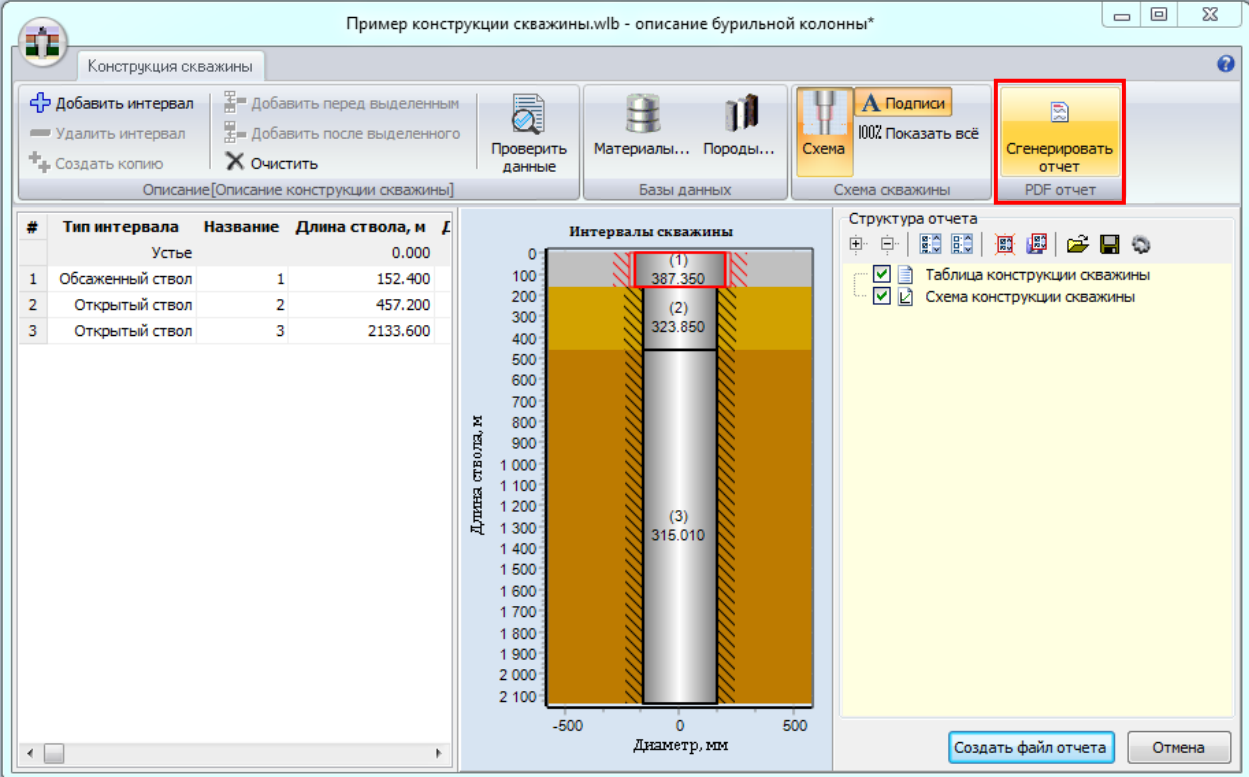
The schematic diagram on the right shows the wellbore intervals with their respective diameters and lengths. The vertical axis is 'Длина ствола, м' (Stem Length, m) ranging from 0 to 2100. The horizontal axis is 'Диаметр, мм' (Diameter, mm) ranging from -500 to 500. The intervals are labeled (1), (2), and (3) with their respective diameters: 387.350, 323.850, and 315.010 mm.

Проверка данных

Для проверки описания конструкции скважины используйте кнопку **Проверить** головного меню окна редактора.

Создание отчетов

Для представления описания конструкции скважины в виде PDF документа воспользуйтесь кнопкой  головного меню окна редактора.



Пример конструкции скважины.wlb - описание буровой колонны*

Конструкция скважины

Добавить интервал | Удалить интервал | Создать копию | Добавить перед выделенным | Добавить после выделенного | Очистить | Проверить данные | Материалы... | Породы... | Подписи | 100% Показать всё | Сгенерировать отчет PDF отчет

#	Тип интервала	Название	Длина ствола, м	L
		Устье		0.000
1	Обсаженный ствол		1	152.400
2	Открытый ствол		2	457.200
3	Открытый ствол		3	2133.600

Интервалы скважины

Длина ствола, м

Диаметр, мм

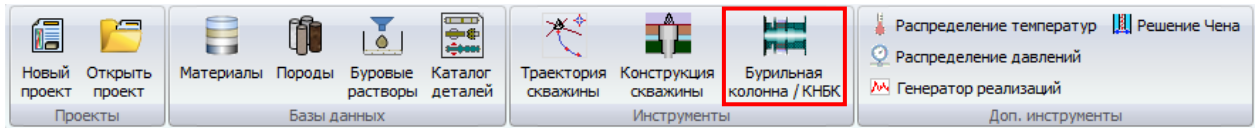
Структура отчета

- Таблица конструкции скважины
- Схема конструкции скважины

Создать файл отчета | Отмена

1.2.4. Редактор компоновок колонны

Используйте кнопку **Компоновка колонны** для создания/редактирования файла описания бурильной колонны.



Компоновка колонны описывается списком отдельных деталей/труб в последовательности «от долота к поверхности».

В Интерфейсе используется описание бурильной колонны как комбинации *КНБК* (компоновки нижней части бурильной колонны, работающей в условиях сжатия) и *Бурильной колонны* (верхней части колонны, состоящей из облеченных труб).

Для описания обеих частей колонны используется одинаковый интерфейс, но файлы *Бурильной колонны* хранятся в XML файлах с расширением *.drs, а файлы описания *КНБК* - в XML файлах с расширением *.bha. Для хранения файлов по умолчанию используется каталог *Рабочий каталог\drillstrings*.

Список деталей/элементов/секций отображается в таблице; кнопки **Продольное сечение** и **Схема колонны** главного меню редактора позволяют визуально контролировать компоновку при создании.

Пример вращательной КНБК.bha* - описание бурильной колонны

Бурильная колонна

Добавить деталь, Удалить деталь, Создать копию детали, Добавить секцию, Удалить секцию, Создать копию секции, Перенести выше, Перенести ниже, Проверить, База данных деталей, Расширенное редактирование, Инструменты, Сгенерировать отчет PDF отчет

	Деталь/Секция	Кол-во	Нар.диам...	Внутр.диам...	Длина, м	Пог. Масс...	Длина БК...	Тип модели	Погосев...
1	12 1/4" PDC Bit	1	311.15	25.4	0.458	478.23	0.458	Упругая модель	1.1551E7
2	12 1/4 Stabilizator	1	209.55	76.2	0.914	234.93	1.372	Упругая модель	6.584E6
3	8 1/4" Collar	1	209.55	76.2	1.524	234.93	2.896	Упругая модель	6.584E6
4	Special tool	1	209.55	132.84	8.534	161.93	11.43	Упругая модель	4.5381E6
5	12 3/16" Stabilizator	1	209.55	78.74	1.8288	232.5	13.259	Упругая модель	6.516E6
6	MWD tool	1	209.55	131.32	6.706				4.6077E6
7	Crossover	1	209.55	76.2	0.6096				6.584E6
8	12 1/4 Roller Reamer	1	311.15	71.12	3.048				1.0264E7
9	Collar	1	203.2	71.12	9.144				3.75E6
10	Float Sub	1	203.2	76.2	0.6096				6.1312E6
11	XO Sub 3.0	1	203.2	76.2	0.6096				6.1312E6
12	6 5/8" x 4 1/2" HWDP	4	203.2	114.3	37.795	113.52	71.781	Упругая модель	3.0606E6
13	8" Jars	1	203.2	76.2	9.144	203.26	80.925	Упругая модель	4.9296E6
14	6 5/8" x 4 1/2" HWDP	5	203.2	114.3	47.244	113.52	128.17	Упругая модель	3.0606E6
15	8" Accelerator	1	203.2	76.2	9.144	203.26	137.31	Упругая модель	4.9296E6
16	6 5/8" x 4 1/2" HWDP	2	203.2	114.3	18.898	113.52	156.21	Упругая модель	3.0606E6
17	Sub 2.8	1	203.2	71.12	0.6096	233.39	156.82	Упругая модель	6.2605E6
18	5" Drill Pipe, 28 ppf	1	177.8	101.6	9.449	41.962	166.27	Упругая модель	1.0527E6
19	Dart Sub	1	127	76.2	0.914	63.642	167.18	Упругая модель	1.7836E6
20	5" Drill Pipe, 28 ppf	1	177.8	101.6	9.449	41.962	176.63	Упругая модель	1.0527E6

Таблица параметров деталей и секций

Устье



Продольное сечение БК

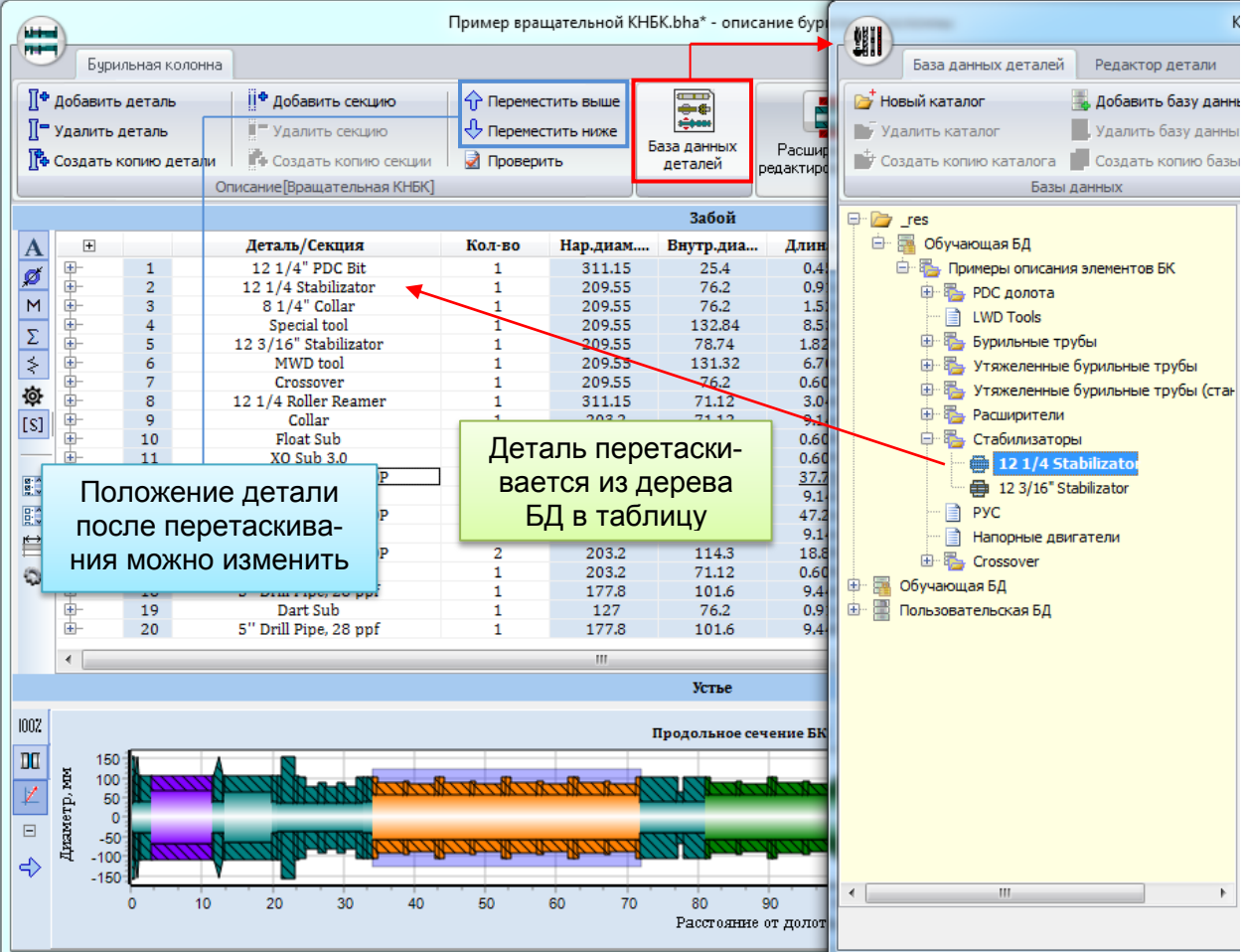
Отображение компоновки

Интерфейс поддерживает несколько способов описания компоновки:

➤ Добавление деталей из Каталога деталей

Откройте каталог с помощью кнопки **Каталог деталей** главного меню приложения, либо с помощью кнопки **База данных деталей** главного меню окна редактора.

Перетащите деталь из дерева каталога в таблицу редактора компоновки; деталь будет добавлена в конец таблицы (к верхней части компоновки), ее параметры отобразятся в последних строках таблицы. Для изменения положения детали в компоновке/таблице воспользуйтесь кнопками **Переместить выше** () или **Переместить ниже** ()



Пример вращательной КНБК.bha* - описание бур...

Бурильная колонна

База данных деталей Редактор детали

Добавить деталь Добавить секцию Переместить выше Переместить ниже База данных деталей

Удалить деталь Удалить секцию Проверить

Создать копию детали Создать копию секции

Описание [Вращательная КНБК]

Забой						
	Деталь/Секция	Кол-во	Нар.диам...	Внутр.диам...	Длин	
1	12 1/4" PDC Bit	1	311.15	25.4	0.4	
2	12 1/4 Stabilizator	1	209.55	76.2	0.9	
3	8 1/4" Collar	1	209.55	76.2	1.5	
4	Special tool	1	209.55	132.84	8.5	
5	12 3/16" Stabilizator	1	209.55	78.74	1.82	
6	MWD tool	1	209.55	131.32	6.7	
7	Crossover	1	209.55	76.2	0.60	
8	12 1/4 Roller Reamer	1	311.15	71.12	3.0	
9	Collar	1	209.55	71.12	3.1	
10	Float Sub	1	209.55	71.12	0.60	
11	XO Sub 3.0	1	209.55	71.12	0.60	
12		2	203.2	114.3	37.7	
13		1	203.2	71.12	9.1	
14		1	177.8	101.6	47.2	
15		1	177.8	101.6	9.1	
16		1	177.8	101.6	9.1	
17		1	177.8	101.6	18.8	
18		1	177.8	101.6	0.60	
19		1	127	76.2	9.4	
20		1	127	76.2	0.9	
21	5" Drill Pipe, 28 ppf	1	177.8	101.6	9.4	

Устье

Продольное сечение БК

Диаметр, мм

Расстояние от долота

Положение детали после перетаскивания можно изменить

Деталь перетаскивается из дерева БД в таблицу

Обучающая БД

Примеры описания элементов БК

PDC долота

LWD Tools

Бурильные трубы

Утяжеленные бурильные трубы

Утяжеленные бурильные трубы (стандарт)

Расширители

Стабилизаторы

12 1/4 Stabilizator

12 3/16" Stabilizator

РУС

Напорные двигатели

Crossover

Обучающая БД

Пользовательская БД

Для добавления нескольких экземпляров детали можно повторить процедуру несколько раз, либо указать необходимое число экземпляров в поле **Кол-во** (количество) соответствующей строки таблицы.

➤ Создание новых деталей

Пользователь может создавать и редактировать детали непосредственно в *Редакторе компоновки*. Головное меню редактора позволяет создать новую (I+), удалить (I-) или дублировать (I+) выбранную деталь.

Интерфейс описания детали в *Редакторе компоновки* соответствует интерфейсу, применяющемуся в *Каталоге деталей* (см. Раздел 1.2.1.1). Головное меню редактора позволяет описывать детали, включающие единственный элемент - вал. Для получения доступа к дополнительным инструментам создания/редактирования описания детали необходимо выбрать соответствующую строку таблицы и нажать на кнопку [**Имя детали**] **подробности...** на главном меню редактора.

The screenshot displays the '5" Drill Pipe - Редактор детали' window. The top toolbar contains several buttons, with a red box highlighting the 'Добавить деталь' (Add detail) and 'Создать копию детали' (Duplicate detail) buttons. Another red box highlights the '[5" Drill Pipe] подробности...' button. The main window shows a table of drill pipe sections, a schematic diagram, and a longitudinal section graph.

Забой									
	Деталь/Секция	Нар.диам., мм	Внутр.диам., мм	Длина, м	Смещение по валу, м	Пог. Масса, кг/м	Длина БК, м	Макс.кр.	
	1 Вал	177.8	101.6	9.449	0	41.962	9.449		
	1.1	177.8	101.6	0.305		131.26	0.305		
	1.2	127	101.6	8.839		35.799	9.144		
	1.3	177.8	101.6	0.305		131.26	9.449		

Устье

Схема детали



Продольное сечение БК

Диаметр, мм

Расстояние от долота, м

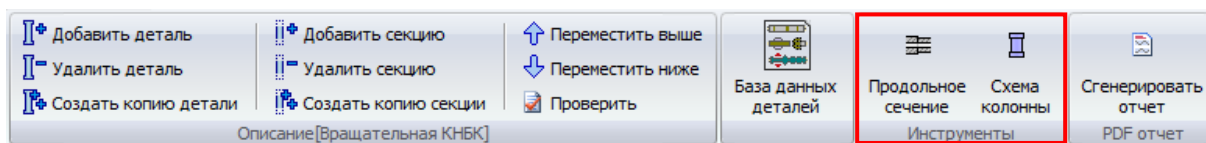
Система единиц: СИ

Режим:

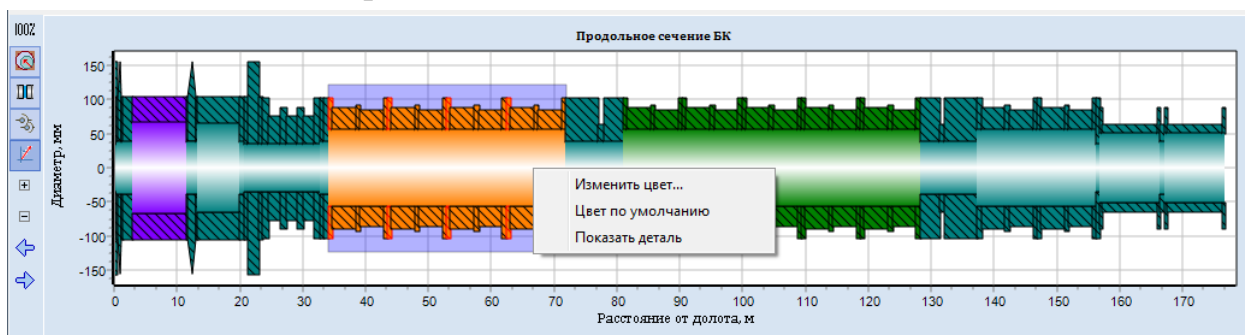
Для сохранения изменений в описании компоновки нажмите **Принять** , для закрытия окна редактора без сохранения изменений нажмите **Отмена** .

Инструменты

Для визуального контроля сборки компоновки предусмотрено два инструмента.

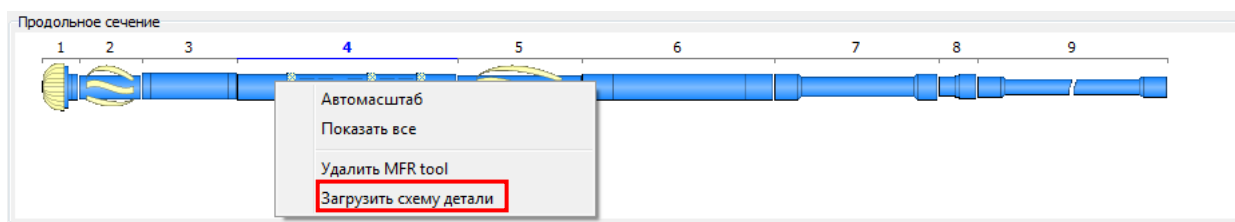


- **Продольное сечение** компоновки обновляется интерактивно, по мере добавления секций и изменения их параметров, и может быть использовано для выбора детали в списке.



С помощью контекстного меню Пользователь может задать цвет выбранной детали.


- **Схема колонны** представляет собой последовательность схематичных изображений деталей компоновки. Для отображения на *Схеме* для каждой детали можно назначить два графических образа – для одного и для нескольких экземпляров детали.

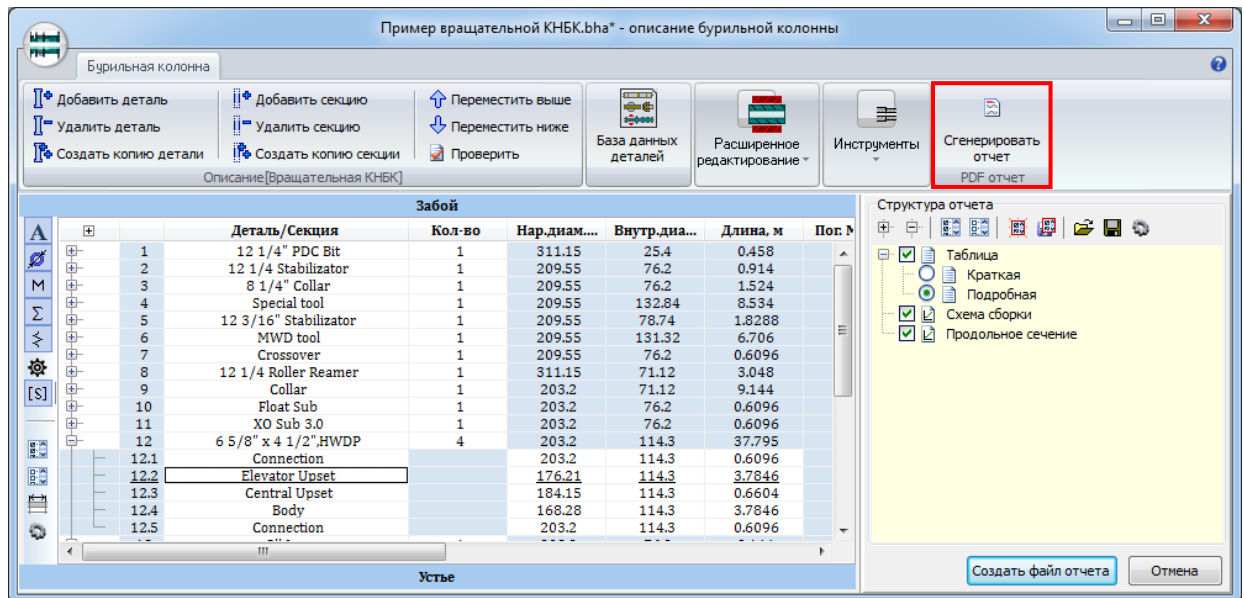


Проверка данных

Для проверки описания компоновки используйте кнопку **Проверить** головного меню окна редактора.

Создание отчетов

Для представления описания компоновки колонны в виде PDF документа воспользуйтесь кнопкой  головного меню окна редактора.



КНБК (Вращательная КНБК): Таблица

N	Деталь/Секция	Кол-во	Нар.диам., мм	Внутр.диам., мм	Длина, м	Пог.масса, кг/м	Длина БК, м
1	12 1/4" PDC Bit	1	311.15	25.4	0.458	478.23	0.458
1.1	Cutting structure		311	25.4	0.051	592.34	0.051
1.2	Body		311.15	71.12	0.28	565.71	0.331
1.3	Shank		209.55	71.12	0.127	239.54	0.458
2	12 1/4" Stabilizator	1	209.55	76.2	0.914	234.93	1.372
2.1	Bottom		209.55	76.2	0.152	234.93	0.61
2.2	Blade		209.55	76.2	0.61	234.93	1.22
2.3	Top		209.55	76.2	0.152	234.93	1.372
3	8 1/4" Collar	1	209.55	76.2	1.524	234.93	2.896
3.1	1		209.55	76.2	1.524	234.93	2.896
4	Special tool	1	209.55	132.84	8.534	161.93	11.43
4.1	1		209.55	132.84	8.534	161.93	11.43
5	12 3/16" Stabilizator	1	209.55	78.74	1.8288	232.5	13.259
5.1	Bottom		209.55	78.74	0.3048	232.5	11.735
5.2	Blade		209.55	78.74	1.2192	232.5	12.954
5.3	Top		209.55	78.74	0.3048	232.5	13.259
6	MWD tool	1	209.55	131.32	6.706	164.41	19.965
6.1	1		209.55	131.32	6.706	164.41	19.965
7	Crossover	1	209.55	76.2	0.6096	234.93	20.574
7.1	1		209.55	76.2	0.6096	234.93	20.574
8	12 1/4" Roller Reamer	1	311.15	71.12	3.048	435.24	23.622
8.1	1		209.55	71.12	0.6096	239.54	21.184
8.2	2		311.15	71.12	1.8288	565.71	23.013
8.3	3		209.55	71.12	0.6096	239.54	23.622
9	Collar	1	203.2	71.12	9.144	144.63	32.766
9.1	1		203.2	71.12	0.9144	223.39	24.537
9.2	2		152.4	71.12	1.8288	112.01	26.366
9.3	3		177.8	71.12	0.9144	163.72	27.28
9.4	4		152.4	71.12	1.8288	112.01	29.109
9.5	5		177.8	71.12	0.9144	163.72	30.023
9.6	6		152.4	71.12	1.8288	112.01	31.852

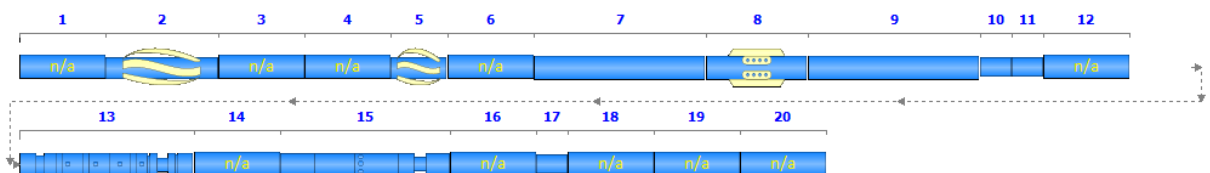
КНБК (Вращательная КНБК): Таблица

N	Деталь/Секция	Кол-во	Нар.диам., мм	Внутр.диам., мм	Длина, м	Пог.масса, кг/м	Длина БК, м
9.7	7		203.2	71.12	0.9144	223.39	32.766
10	Float Sub	1	203.2	76.2	0.6096	218.77	33.376
10.1	1		203.2	76.2	0.6096	218.77	33.376
11	XO Sub 3.0	1	203.2	76.2	0.6096	218.77	33.986
11.1	1		203.2	76.2	0.6096	218.77	33.986
12	6 5/8" x 4 1/2",HWDP	4	203.2	114.3	37.795	113.52	71.781
12.1	Connection		203.2	114.3	0.6096	174.02	174.02
12.2	Elevator Upset		176.21	114.3	3.7846	110.89	110.89
12.3	Central Upset		184.15	114.3	0.6604	128.53	128.53
12.4	Body		168.28	114.3	3.7846	94.034	94.034
12.5	Connection		203.2	114.3	0.6096	174.02	174.02
13	8" Jars	1	203.2	76.2	9.144	203.26	80.925
13.1	1		203.2	76.2	5.1816	218.77	76.962
13.2	2		127	76.2	0.9144	63.642	77.877
13.3	3		203.2	76.2	3.048	218.77	80.925
14	6 5/8" x 4 1/2",HWDP	5	203.2	114.3	47.244	113.52	128.17
14.1	Connection		203.2	114.3	0.6096	174.02	174.02
14.2	Elevator Upset		176.21	114.3	3.7846	110.89	110.89
14.3	Central Upset		184.15	114.3	0.6604	128.53	128.53
14.4	Body		168.28	114.3	3.7846	94.034	94.034
14.5	Connection		203.2	114.3	0.6096	174.02	174.02
15	8" Accelerator	1	203.2	76.2	9.144	203.26	137.31
15.1	1		203.2	76.2	3.048	218.77	131.22
15.2	2		127	76.2	0.9144	63.642	132.13
15.3	3		203.2	76.2	5.1816	218.77	137.31
16	6 5/8" x 4 1/2",HWDP	2	203.2	114.3	18.898	113.52	156.21
16.1	Connection		203.2	114.3	0.6096	174.02	174.02
16.2	Elevator Upset		176.21	114.3	3.7846	110.89	110.89
16.3	Central Upset		184.15	114.3	0.6604	128.53	128.53
16.4	Body		168.28	114.3	3.7846	94.034	94.034
16.5	Connection		203.2	114.3	0.6096	174.02	174.02

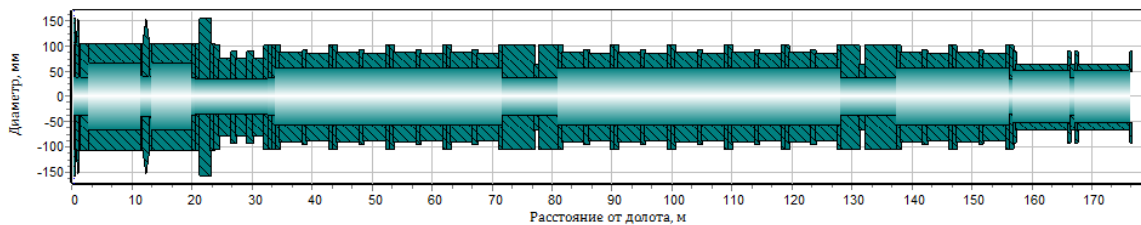


КНБК (Вращательная КНБК): Схема и продольное сечение КНБК

Вращательная КНБК : Схема БК



Вращательная КНБК : Продольное сечение БК





1.3. Интерфейс проекта

Приложение UM Drillstring Analysis предназначено для решения различных типов задач, связанных с моделированием поведения бурильной колонны в скважине, представлением и анализом полученных результатов.

Структура проекта

Интерфейс приложения предполагает организацию исходных данных, настроек и результатов расчета в виде отдельных *проектов*.

В рамках приложения одновременно может быть запущен один или несколько проектов, каждый из которых включает:

- *Исходные данные*

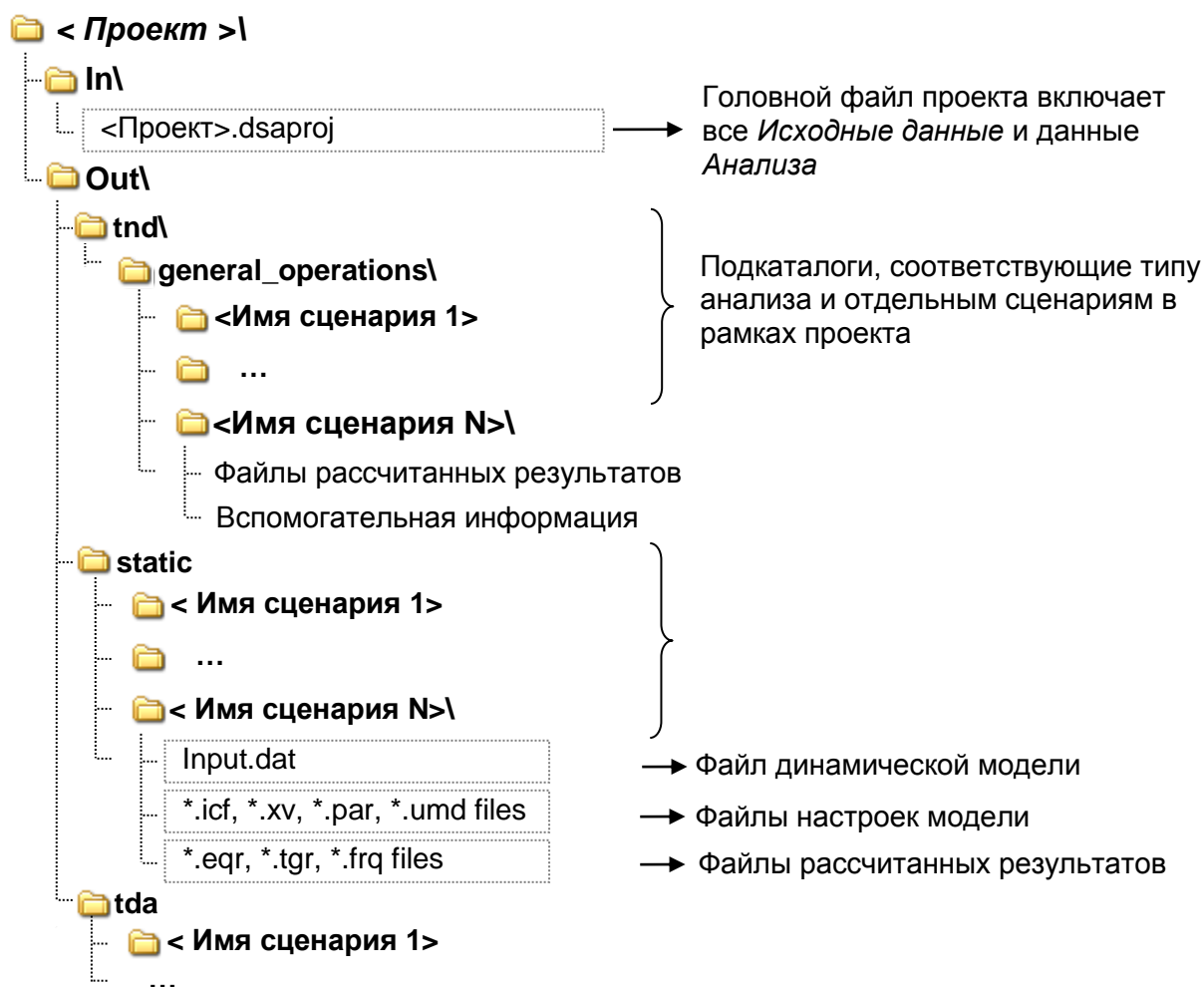
Описание одной или нескольких траекторий скважины, вариантов конструкции, компоновок нижней и верхней частей бурильной колонны, используемых в проекте.

- *Анализ*

В рамках одного проекта может рассматриваться множество вариантов расчета – сценариев. Каждый сценарий соответствует определенному положению колонны в скважине, набору операционных параметров и настроек решателя. Интерфейс предусматривает возможность сравнения результатов расчета различных сценариев в рамках одного проекта.


Хранение данных проекта

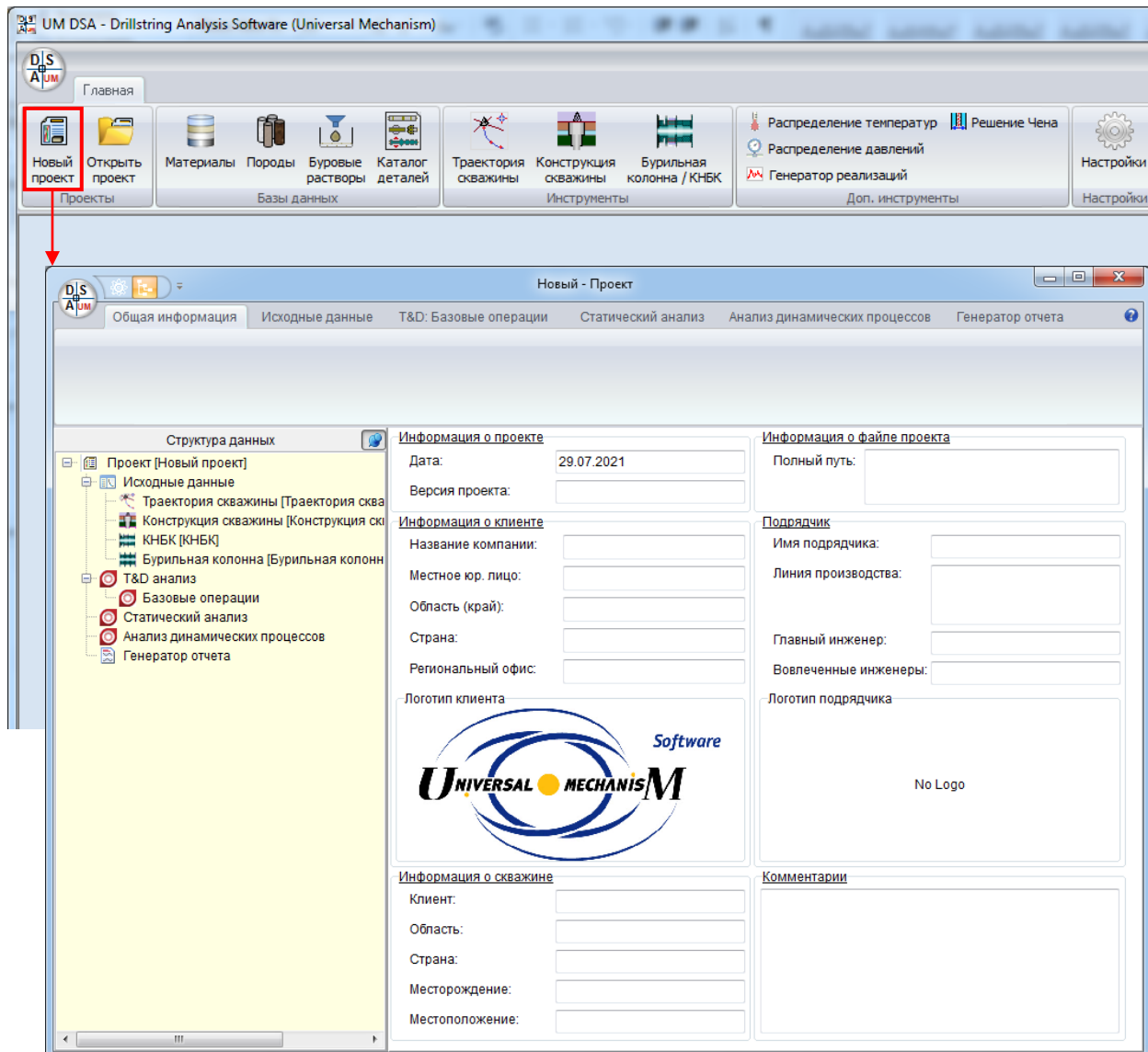
Данные проекта хранятся в виде каталога с именем проекта, имеющего следующую структуру:




Файлы проектов по умолчанию сохраняются в директории <Рабочий каталог>\projects.

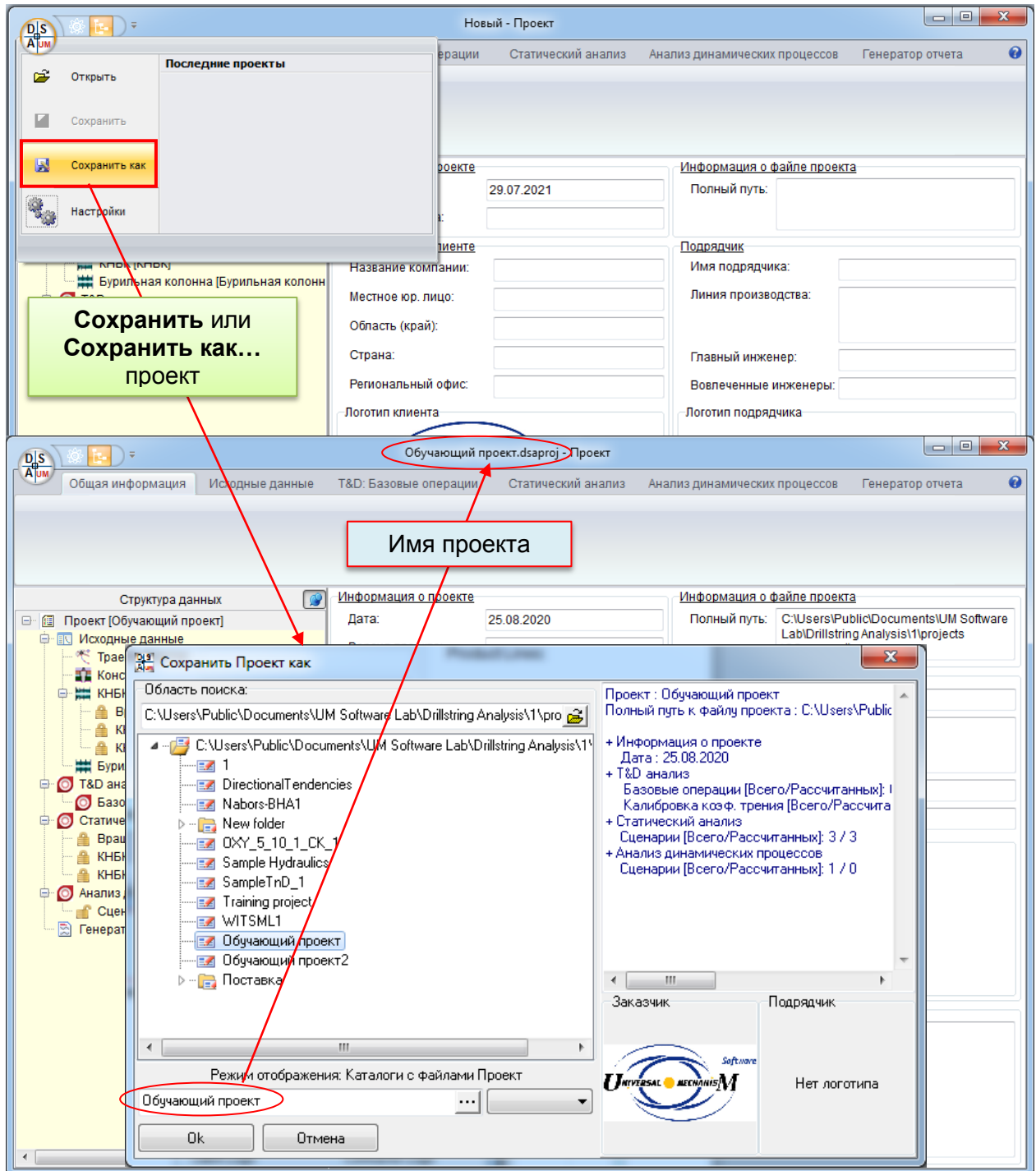
1.3.1. Создание нового проекта

Для создания нового проекта нажмите кнопку  главного меню приложения – *Окно проекта* появится на главной форме. Подробное описание структуры *Окна проекта* приведено в Разделе 1.3.4.




1.3.2. Сохранение проекта

Новый проект не сохраняется автоматически при создании. Для сохранения нового проекта воспользуйтесь кнопкой **Сохранить как ...**  и в диалоговом окне **Сохранить проект как** выберите расположение и имя проекта (имя головного каталога для хранения данных проекта).

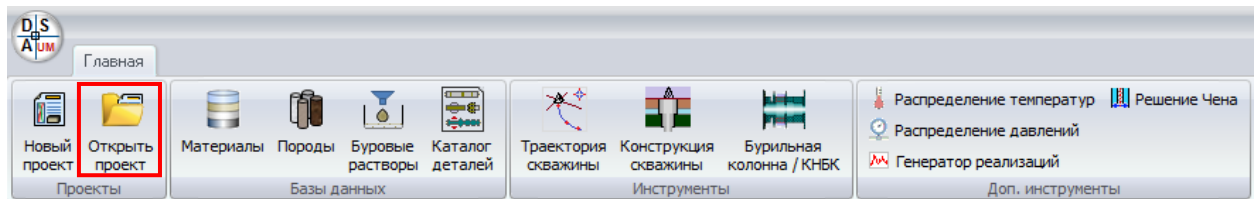


После сохранения имя проекта отобразится в заголовке окна.

При внесении изменений в описание сохраненного проекта к имени добавляется постфикс " * " и становится доступной опция **Сохранить** .

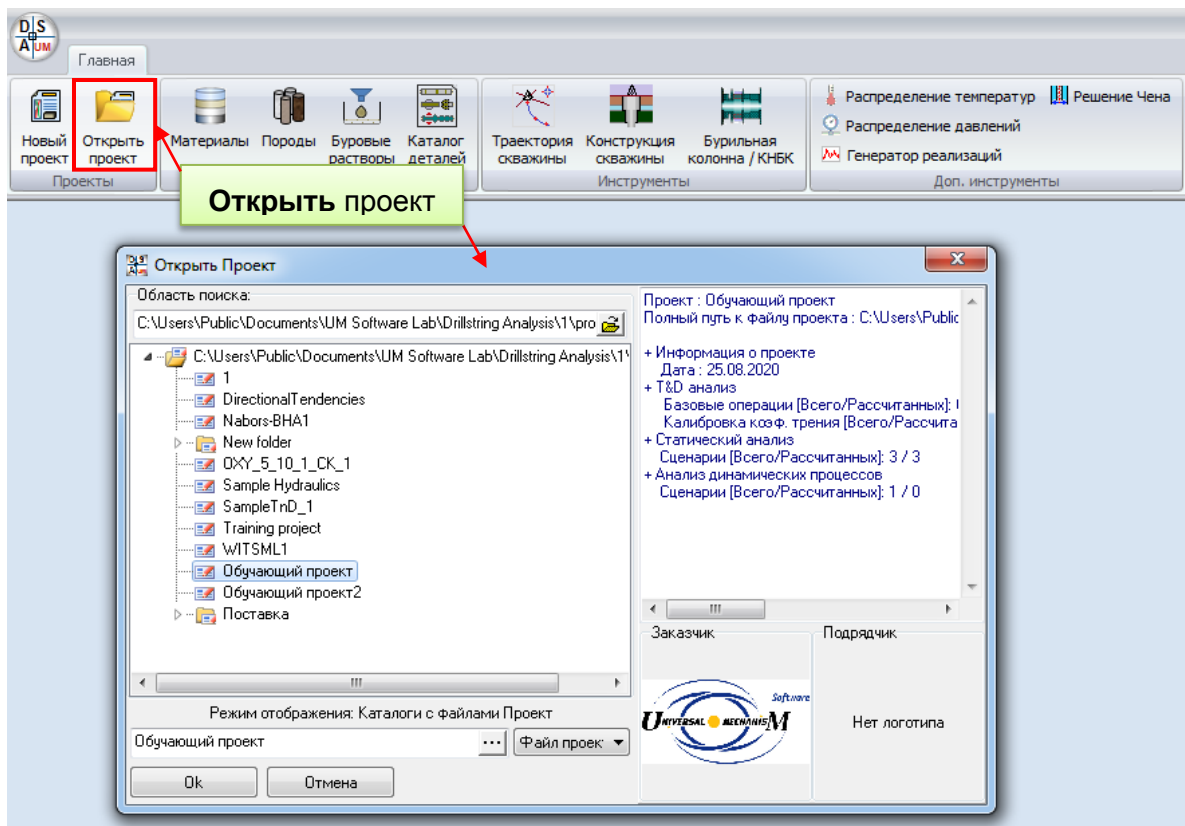
1.3.3. Загрузка проекта

Для загрузки ранее сохраненного проекта воспользуйтесь кнопкой **Открыть проект** головного меню приложения.

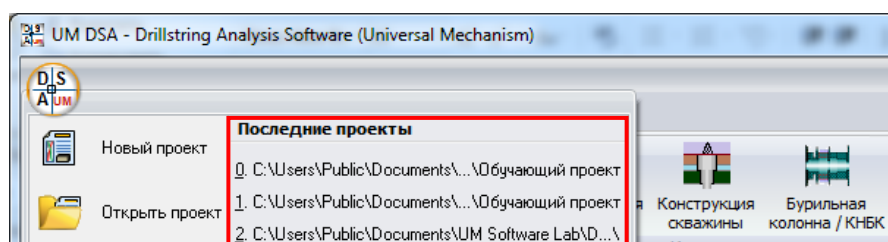


Программа автоматически сканирует < Рабочий каталог > приложения для поиска сохраненных проектов. Список найденных проектов отображается в виде дерева на левой панели диалогового окна **Открыть проект**. Краткая информация о выбранном проекте отображается на правой панели.

Нажмите **Ок** для загрузки выбранного проекта, или **Отмена** для закрытия окна диалога.



Пользователь может также выбрать проект из списка недавно открытых – **Последние проекты**.



1.3.4. Окно проекта

Окно проекта позволяет получить доступ к *Общей информации* о проекте, *Исходным данным*, а также сценариям *Статического*, *Torque&Drag* анализа и *Анализа переходных процессов*.

1.3.4.1. Система навигации

Для навигации по закладкам окна проекта используется дерево *Структура данных*, расположенное на левой панели окна.

The screenshot displays the 'Обучающий проект.dsaproj - Проект*' window. The top menu bar includes 'Общая информация', 'Исходные данные', 'T&D: Базовые операции', 'Статический анализ', 'Анализ динамических процессов', and 'Генератор отчета'. Below the menu is a toolbar with icons for adding/removing KNEK, opening/saving files, and generating reports. The left sidebar shows the 'Структура данных' tree, with 'КНЕК с напорным двигателем' selected. The main area contains a 'Забой' table with columns for 'Деталь/Се...', 'Кол-во', 'Тип', 'Нар.диам....', 'Внутр.диам...', 'Конт.диам...', 'Длина, м', and 'Погмас...'. A 'Устье' section at the bottom shows a 'Продольное сечение БК' graph with 'Диаметр, мм' on the y-axis and 'Расстояние от долота, м' on the x-axis.

Деталь/Се...	Кол-во	Тип	Нар.диам....	Внутр.диам...	Конт.диам...	Длина, м	Погмас...
12 1/4 PD...	1		311.15	75	311.15	0.36576	38
Cutting str...		Однородная	311.15	75	311.15	0.1524	56
Shank		Однородная	209.55	127	209.55	0.21336	17
Mud Motor	1					7.5743	1
Lower_Bit_B...		Однородная	209.55	127	209.55	0.0254	17
Middle_Bit_...			127	209.55		0.13411	17
Upper_Bit_...			127	209.55		0.0254	17
Neck			105	225		0.073152	24
Lower_Bear...			127	203		0.38481	15
Middle_Bea...			127	225		0.1397	21
Upper_Bear...			127	209.55		0.48235	17
Bearing_Ad...		Однородная	209.55	145	209.55	0.52959	1
Lower_Adju...		Однородная	225	127	225	0.073152	21
Upper_Adju...		Однородная	209.55	127	209.55	0.065786	17
Lower_Stator		Однородная	209.55	127	209.55	0.021844	17
Middle_Stat...		Однородная	209.55	127	209.55	0.021844	17
Upper_Stat...		Однородная	209.55	127	209.55	0.021844	17
Power_Secti...		Однородная	195	127	195	5.0292	:
Lower_Top_...		Однородная	209.55	127	209.55	0.3081	17
Middle_Top...		Однородная	209.55	127	209.55	0.1397	17
Upper_Top...		Однородная	209.55	127	209.55	0.098298	17
UBNO	1		295	71.12	295	0.9144	14
Connection		Однородная	295	71.12	295	0.3048	17
rodная		Однородная	200	71.12	200	0.3048	74
rodная		Однородная	295	71.12	295	0.3048	17
rodная		Однородная	295	71.12	295	18.898	28
rodная		Однородная	295	71.12	295	0.508	51
rodная		Однородная	205	71.12	205	8.8392	28
rodная		Однородная	295	71.12	295	0.1016	51
6.5/8" Dnl	4		203.2	127	203.2	37.785	36

Annotations in the image:

- Панель закладок Головного меню**: Points to the top toolbar.
- Нажмите, чтобы скрыть дерево навигации**: Points to the tree structure icon in the left sidebar.
- Структура данных дерево навигации**: Points to the tree structure in the left sidebar.

1.3.4.2. Общая информация

Закладка **Общая информация** содержит описание проекта – информацию, не относящуюся непосредственно к расчетам.

- ✓ Информация о проекте и каталоге проекта
 - Дата последнего изменения – дата создания либо последнего изменения/сохранения проекта.
 - Версия проекта
 - Полный путь к каталогу проекта (с прямым доступом через всплывающее меню)
- ✓ Информация о компании-клиенте и компании-подрядчике.

Внимание: Дважды щелкните на области Логотип клиента / подрядчика для загрузки изображений логотипов. По умолчанию файлы логотипов хранятся в директории <Рабочий каталог>\logos\. Для удаления логотипа воспользуйтесь опцией всплывающего меню.

- ✓ Информация о скважине
- ✓ Комментарии к проекту

The screenshot displays the 'Общая информация' (General Information) tab in the UM Drillstring Analysis software. The interface is divided into several sections:

- Информация о проекте (Project Information):** Includes fields for 'Дата' (Date: 10.02.2021) and 'Версия проекта' (Project Version).
- Информация о файле проекта (Project File Information):** Shows the 'Полный путь' (Full path) to the project file.
- Информация о клиенте (Client Information):** Fields for 'Название компании' (Company Name), 'Местное юр. лицо' (Local legal entity), 'Область (край)' (Region), 'Страна' (Country), and 'Региональный офис' (Regional office).
- Логотип клиента (Client Logo):** Displays the logo for 'UNIVERSAL MECHANISMS Software'.
- Информация о подрядчике (Contractor Information):** Fields for 'Имя подрядчика' (Contractor Name), 'Линия производства' (Production line), 'Главный инженер' (Chief Engineer), and 'Вовлеченные инженеры' (Involved engineers).
- Логотип подрядчика (Contractor Logo):** Displays the logo for 'DS A UM'.
- Информация о скважине (Well Information):** Fields for 'Клиент' (Client), 'Область' (Region), 'Страна' (Country), 'Месторождение' (Field), and 'Местоположение' (Location).
- Комментарии (Comments):** A text area containing the comment: 'Обучающий проект - демонстрация различных типов анализа бурильной колонны в программе UM Drillstring Analysis.'

The left navigation pane shows a tree structure under 'Проект [Обучающий проект]' (Project [Training project]), including folders for 'Исходные данные' (Raw data), 'Траектории скважин' (Well trajectories), 'Конструкции скважин' (Well constructions), 'КНБК' (Casing), 'Т&D анализ' (T&D analysis), 'Статический анализ' (Static analysis), and 'Анализ динамических процессов' (Dynamic process analysis).

1.3.4.3. Исходные данные

Для доступа к элементам *Исходных данных* проекта – вариантам траектории и конструкции скважин, компоновок нижней и верхней частей колонны – воспользуйтесь деревом *Структура данных*.

Элементы исходных данных отображаются в дереве под узлом **Исходные данные** и сгруппированы в ветки по типам – **Траектории скважин**, **Конструкции скважин**, **КНБК**, **Компоновки верха колонны**.

#	Тип интервала	Название	Длина ствола, м	Диаметр, м
		Устье	0,000	381,000
1	Открытый ствол	1	152,400	381,000
2	Открытый ствол	2	457,200	317,500
3	Открытый ствол	3	2133,600	311,200

Для отображения/редактирования описания элемента данных выберите соответствующий узел в дереве *Структура данных* дерева; инструменты редактирования описания отобразятся на закладке **Исходные данные** головного меню *окна проекта*.

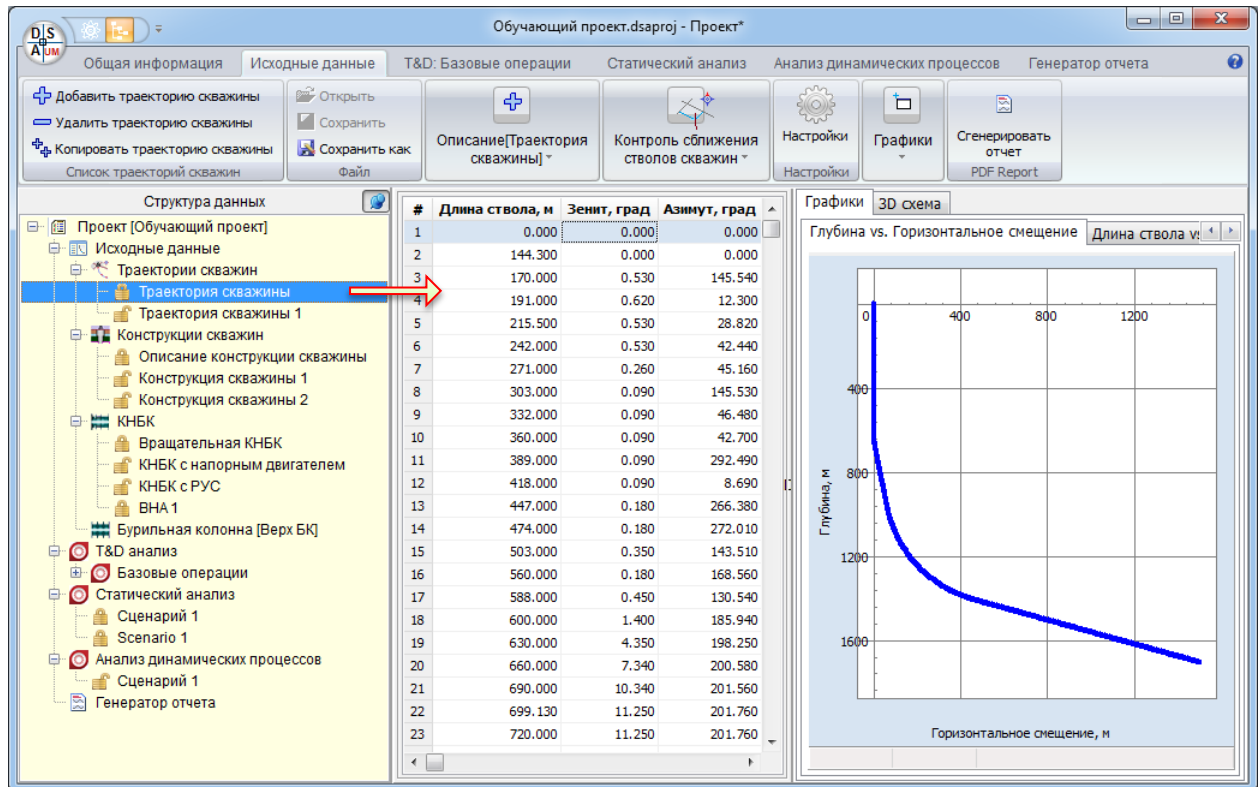
Всплывающее меню дерева позволяет осуществлять следующие действия:

- добавить новый элемент описания;
- удалить выбранный элемент;
- создать копию выбранного элемента;
- удалить результаты расчета (удалить результаты всех расчетов, в которых используется описание выбранного элемента).

Внимание: Редактирование описания и удаление элемента заблокировано (иконка на узле дерева), если проект содержит результаты расчета, полученные с его использованием.

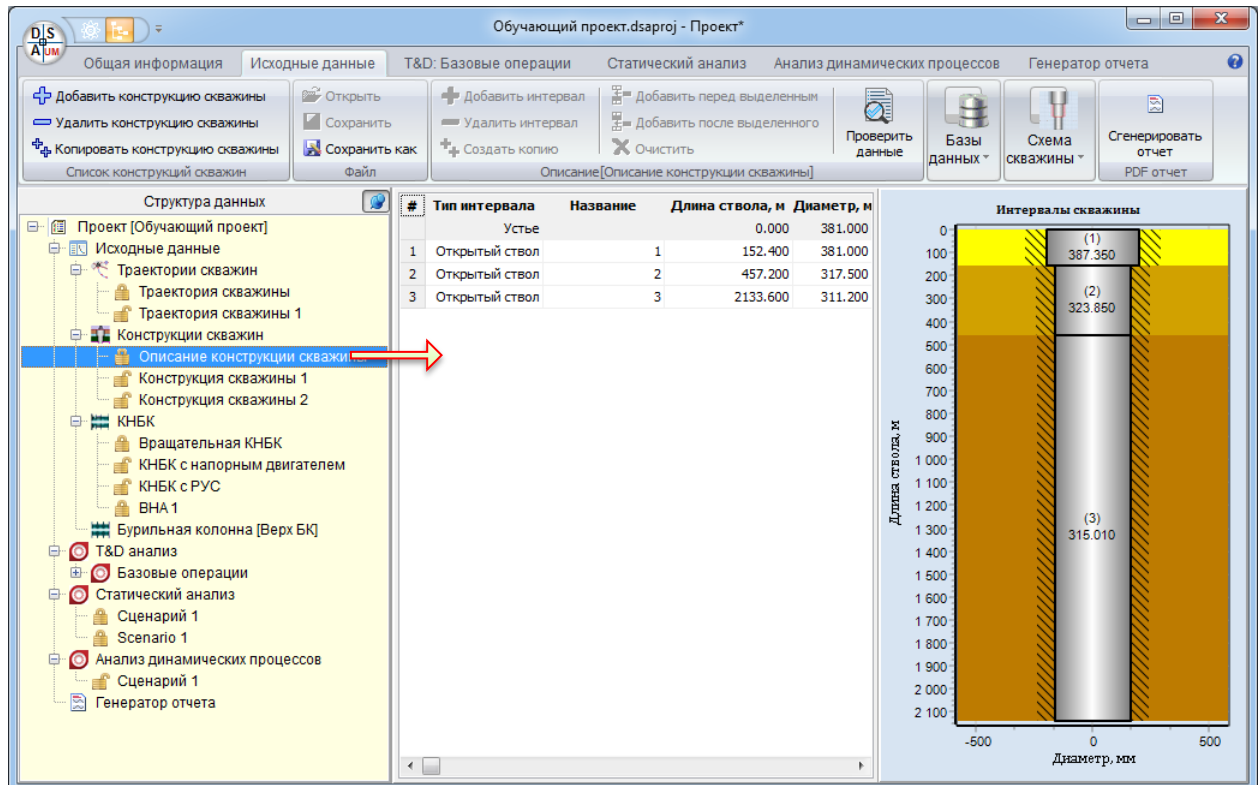
Траектории скважин

Инструменты описания траектории скважины рассмотрены в Разделе 1.2.2.



Конструкции скважин

Инструменты описания конструкции скважины рассмотрены в Разделе 1.2.3.



Описание компоновок низа бурильной колонны (КНБК)

Инструменты описания компоновки колонны рассмотрены в Разделе 1.2.4.

Деталь/Се...	Кол-во	Тип	Нар.диам...	Внутр.диа...	Конг.диа...	Длина, м	Погмасса...
12 1/4" PD...	1		311.15	25.4	311.15	0.458	478.2
12 1/4" Sta...	1		209.55	76.2	311.15	0.914	234.9
8 1/4" Coll...	1		209.55	76.2	209.55	1.524	234.9
Special tool	1		209.55	132.84	209.55	8.534	161.9
12 3/16" S...	1		209.55	78.74	309.57	1.8288	232.5
MWD tool	1		209.55	131.32	209.55	6.706	164.4
Crossover	1		209.55	76.2	209.55	0.6096	234.9
12 1/4 Roll...	1		311.15	71.12	311.15	3.048	435.2
Collar	1		203.2	71.12	203.2	9.144	144.6
Float Sub	1		203.2	76.2	203.2	0.6096	218.7
XO Sub 3.0	1		203.2	76.2	203.2	0.6096	218.7
6 5/8" x 4 ...	4		203.2	114.3	203.2	37.795	113.5
8" Jars	1		203.2	76.2	203.2	9.144	203.2
6 5/8" x 4 ...	5		203.2	114.3	203.2	47.244	113.5
8" Accelera...	1		203.2	76.2	203.2	9.144	203.2
6 5/8" x 4 ...	2		203.2	114.3	203.2	18.898	113.5
Sub 2.8	1		203.2	71.12	203.2	0.6096	223.3
5" Drill Pip...	1		177.8	101.6	177.8	9.449	41.96
Dart Sub	1		127	76.2	127	0.914	63.64
5" Drill Pip...	1		177.8	101.6	177.8	0.440	41.96

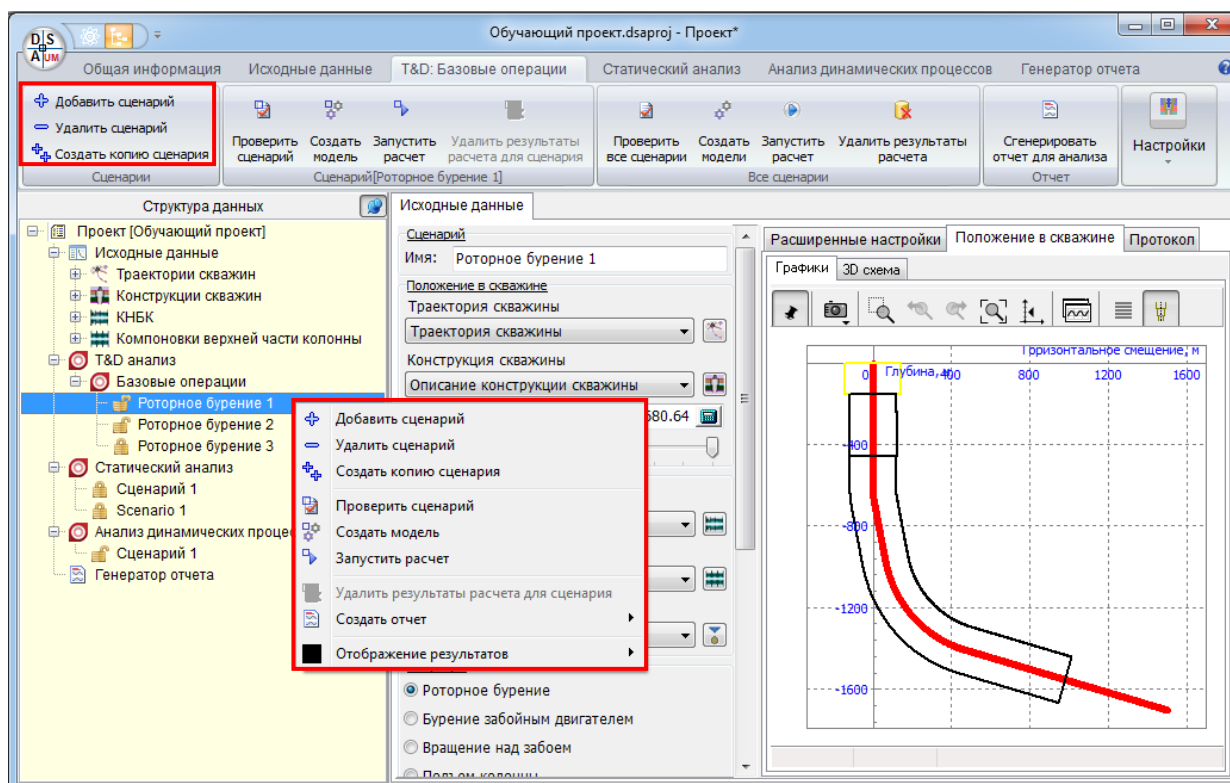
Описание компоновок верхней части колонны

Инструменты описания компоновки колонны рассмотрены в Разделе 1.2.4.

Деталь/Секция	Кол-во	Нар.диам...	Внутр.диа...	Длина, м	Погмасса...
5" Drill Pipe	20	177.8	101.6	188.98	41.958
	1	177.8	101.6	0.3048	131.26
	3	127	101.6	8.8392	35.799
		177.8	101.6	0.3048	131.26

1.3.4.4. Интерфейс анализа

Проект может включать произвольное количество *сценариев* – наборов исходных данных, условий эксплуатации, настроек решателя и рассчитанных результатов – для всех типов анализа. Список сценариев отображается в виде узлов ветви соответствующего типа анализа в дереве *Структура данных*.



Интерфейс приложения позволяет задать исходные данные и настройки расчета, проверить корректность введенных данных, запустить расчет и вывести результаты как для одного, так и для нескольких сценариев

Для выбранного узла анализа или сценария доступные следующие опции всплывающего и главного меню:

- создать новый сценарий;
- удалить выбранный сценарий;
- создать копию выбранного сценария;
- проверить описание сценария/сценариев;
- создать файлы модели¹;
- запустить расчет;
- удалить рассчитанные результаты;
- создать PDF отчет для сценария/анализа (см. Раздел 1.3.4.1);
- выбрать цвет графика для сценария.

¹ Файлы модели создаются в каталоге сценария для некоторых из типов анализа.

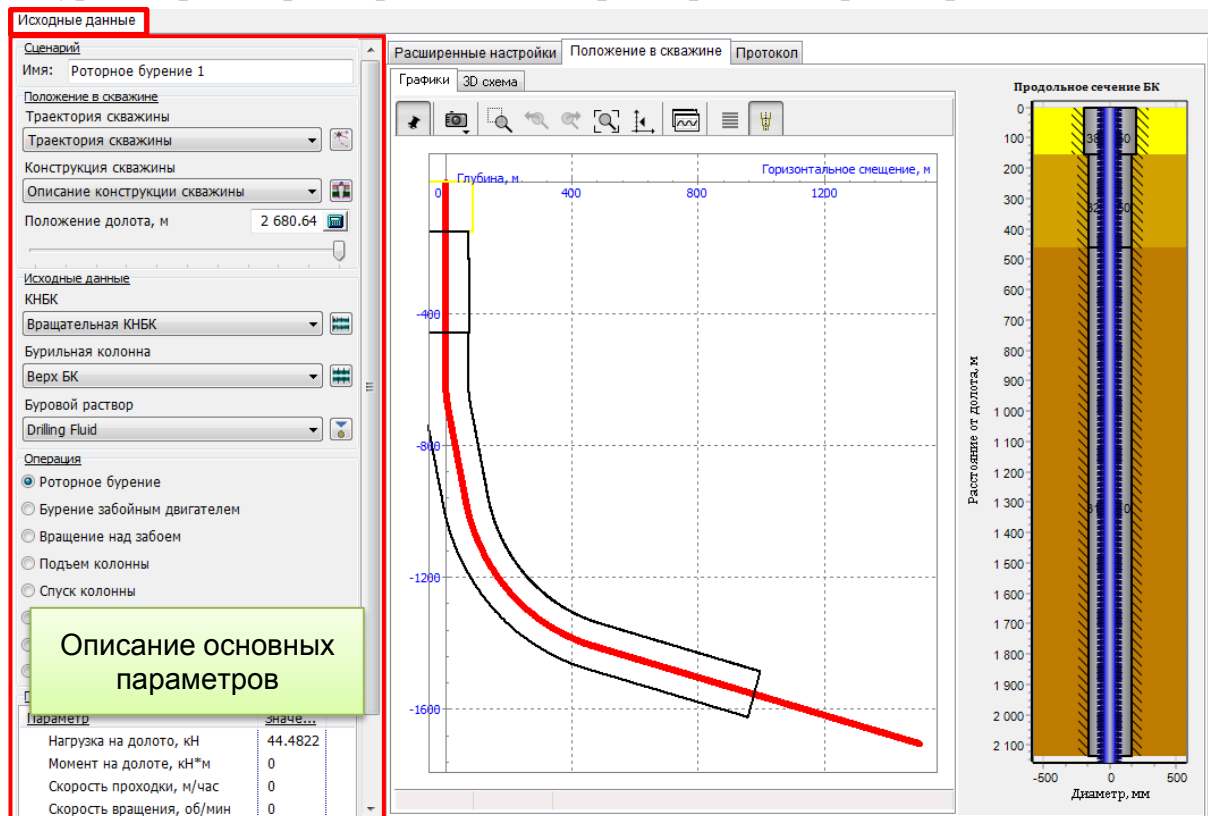
При выборе узла сценария в дереве *Структура данных* настройки сценария отображаются на правой панели:

✓ Исходные данные

Закладка **Исходные данные** предназначена для описания основных и дополнительных параметров сценария, визуализации положения колонны в скважине, а также для запуска и контроля выполнения расчета.

Основные параметры

Набор основных параметров сценария описывается на центральной панели: элементы ранее описанных *Исходных данных* (траектория и конструкция скважины, компоновки нижней и верхней частей колонны), положение долота, буровой раствор, операционные параметры и настройки решателя.



Внимание: Редактирование параметров рассчитанного сценария заблокировано (иконка на узле дерева). Для редактирования необходимо **Удалить результаты расчета для сценария** через главное или контекстное меню.

Отображение положения компоновки в скважине

На закладке **Положение в скважине** отображается расположение колонны на графике зависимости горизонтального смещения от глубины, на 3D схеме траектории скважины и схеме конструкции скважины (опционально).

Запуск и контроль выполнения расчета

Закладка **Протокол** служит для вывода сообщений об обнаруженных в описании ошибках, запуска и контроля выполнения расчетов.

Исходные данные

Сценарий
Имя: Роторное бурение 3

Положение в скважине
Траектория скважины
Траектория скважины

Конструкция скважины
Описание конструкции скважины

Положение долота, м 2 680.64

Исходные данные
КНБК
Вращательная КНБК

Бурильная колонна
Верх БК

Буровой раствор
Drilling Fluid

Операция
 Роторное бурение
 Бурение забойным двигателем
 Вращение над забоем
 Подъем колонны
 Спуск колонны
 Обратная проработка ствола
 Проработка ствола
 Технологические операции

Параметры

Параметр	Знач...
Нагрузка на долото, кН	44.4822
Момент на долоте, кН*м	0
Скорость проходки, м/час	0

Расширенные настройки Положение в скважине Протокол

Протокол

Критических ошибок в исходных данных не обнаружено

Протокол выполнения расчета

Шкалы прогресс выполнения расчетов для отдельных сценариев

--- Расчет запущен ---
29.07.2021 - 23:41:55
Расчет запущен

29.07.2021 - 23:41:55
Сценарий: Роторное бурение 1
Траектория скважины: Траектория скважины
Интервалы скважины: Описание конструкции скважины
Продольное положение долота в скважине: 2680.64 м

Расчет выполнен
Оценка времени:00:00:00

29.07.2021 - 23:41:55
Сценарий: Роторное бурение 2
Траектория скважины: Траектория скважины
Интервалы скважины: Описание конструкции скважины
Продольное положение долота в скважине: 2680.64 м

29.07.2021 - 23:41:55
Сценарий: Роторное бурение 3
Траектория скважины: Траектория скважины
Интервалы скважины: Описание конструкции скважины
Продольное положение долота в скважине: 2680.64 м

Запустить расчет Остановить расчет 8 Количество процессоров: 8Потоков доступно
Выполнено:7/9

Шкала общего прогресса выполнения расчетов для созданных сценариев

Нажмите **Запустить расчет** для начала анализа описанных сценариев.

Расчет отдельных сценариев выполняется в параллельных потоках; пользователь может выбрать максимальное число параллельных потоков используемых при анализе с помощью поля **Кол-во процессоров** как до запуска, так и вовремя расчета.

Для каждого из выполняемых сценариев на правую панель (**Расчет**) добавляется шкала прогресса выполнения.

Пользователь может **Остановить расчет** при необходимости.

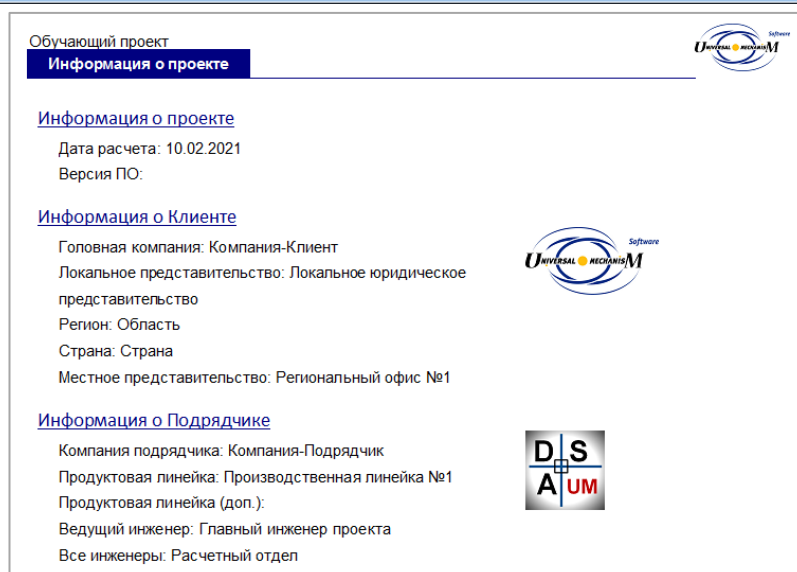
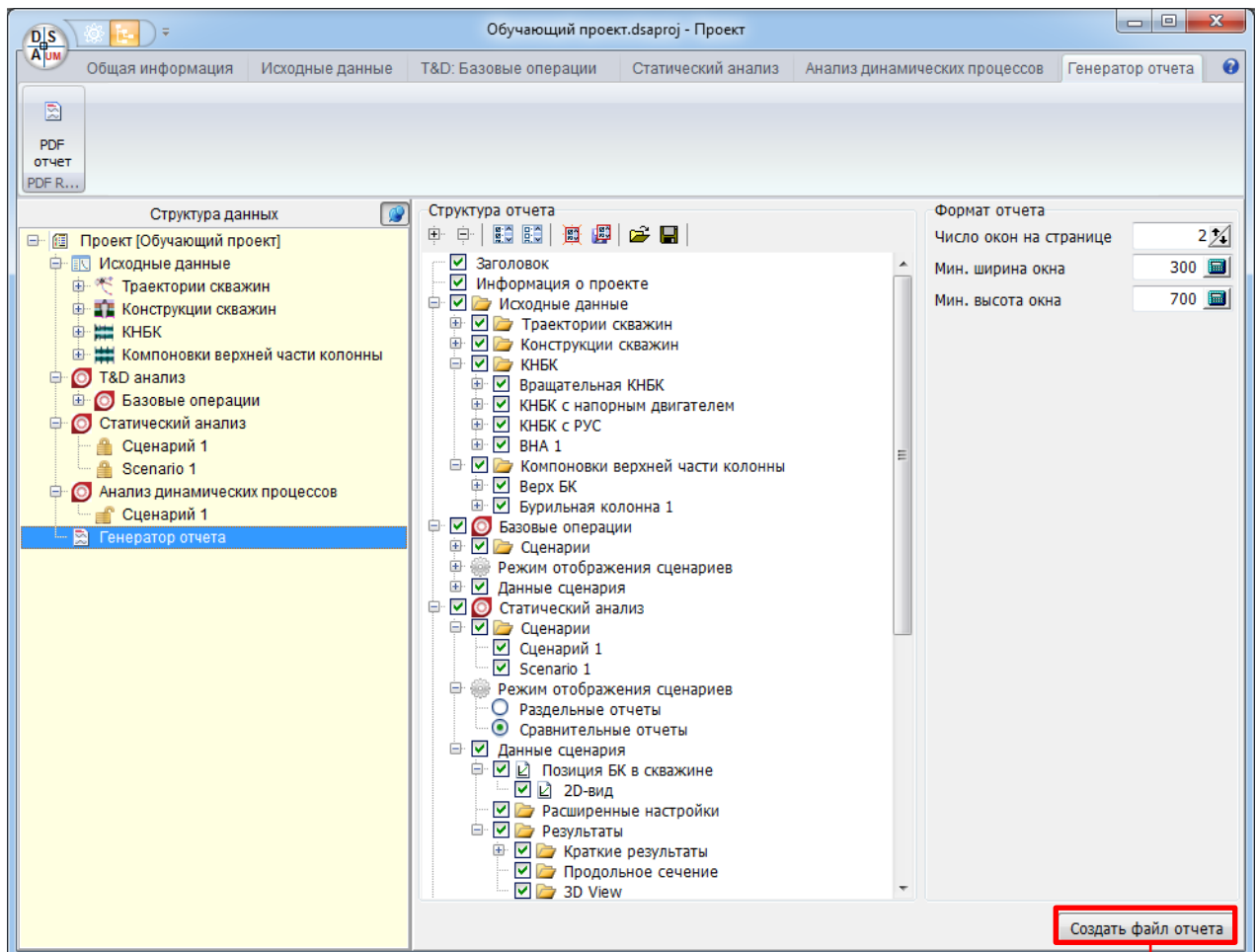
✓ Результаты


Закладка **Результаты** включает набор инструментов для отображения результатов расчета для отдельного сценария и набора выбранных сценариев.

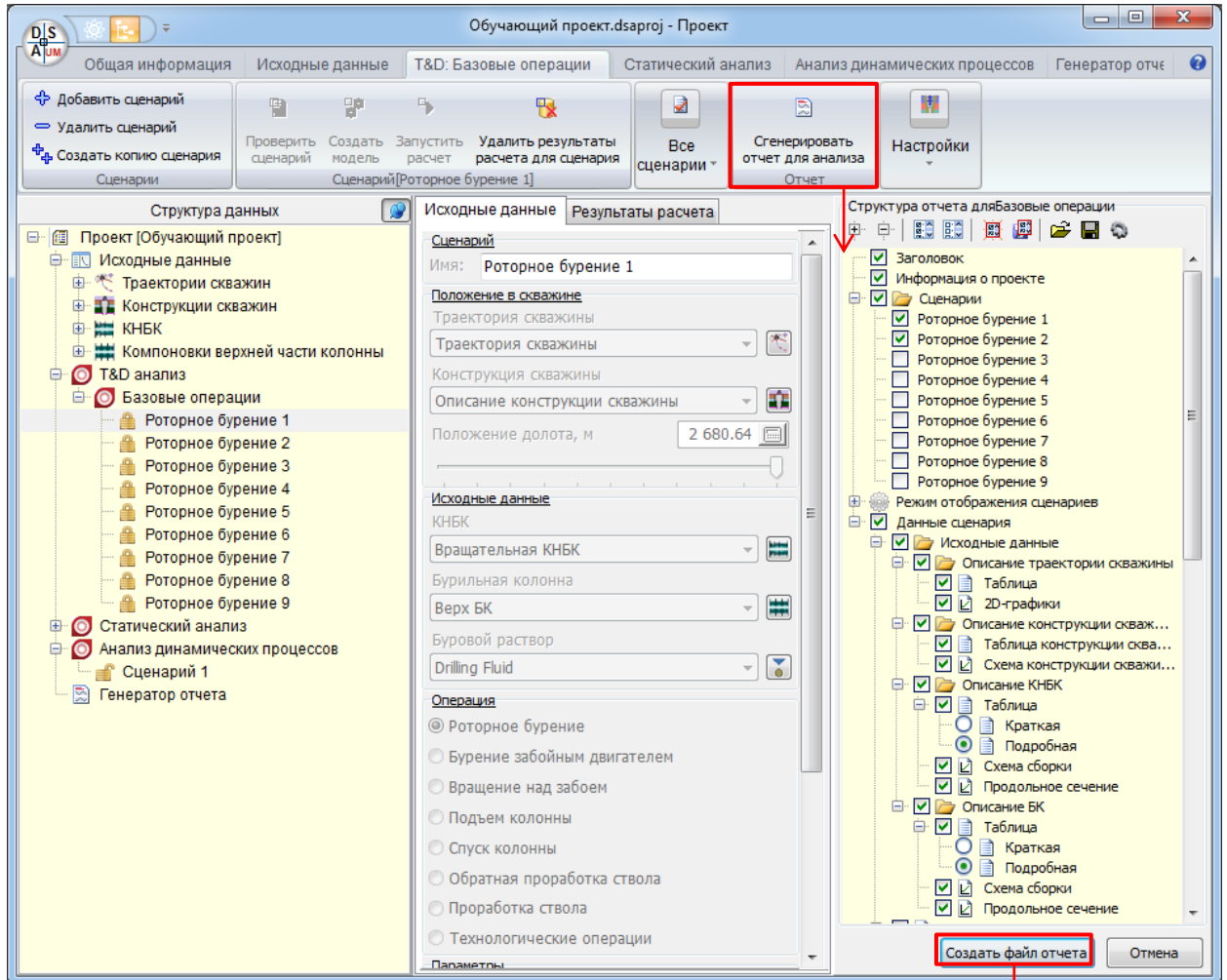
1.3.4.1. Создание отчетов

Исходные данные и результаты расчетов для отдельного сценария, набора сценариев или проекта в целом могут быть представлены в виде отчета в формате PDF.

Для настройки содержания отчета по проекту используется закладка **Генератор отчета** главного меню окна проекта.




Для настройки отчета по элементам исходных данных, сценариям или отдельному типу анализа применяется всплывающая панель **Структура отчета**, отображаемая при нажатии кнопки **Создать отчет**  главного меню.



Обучающий проект

Параметры сценария



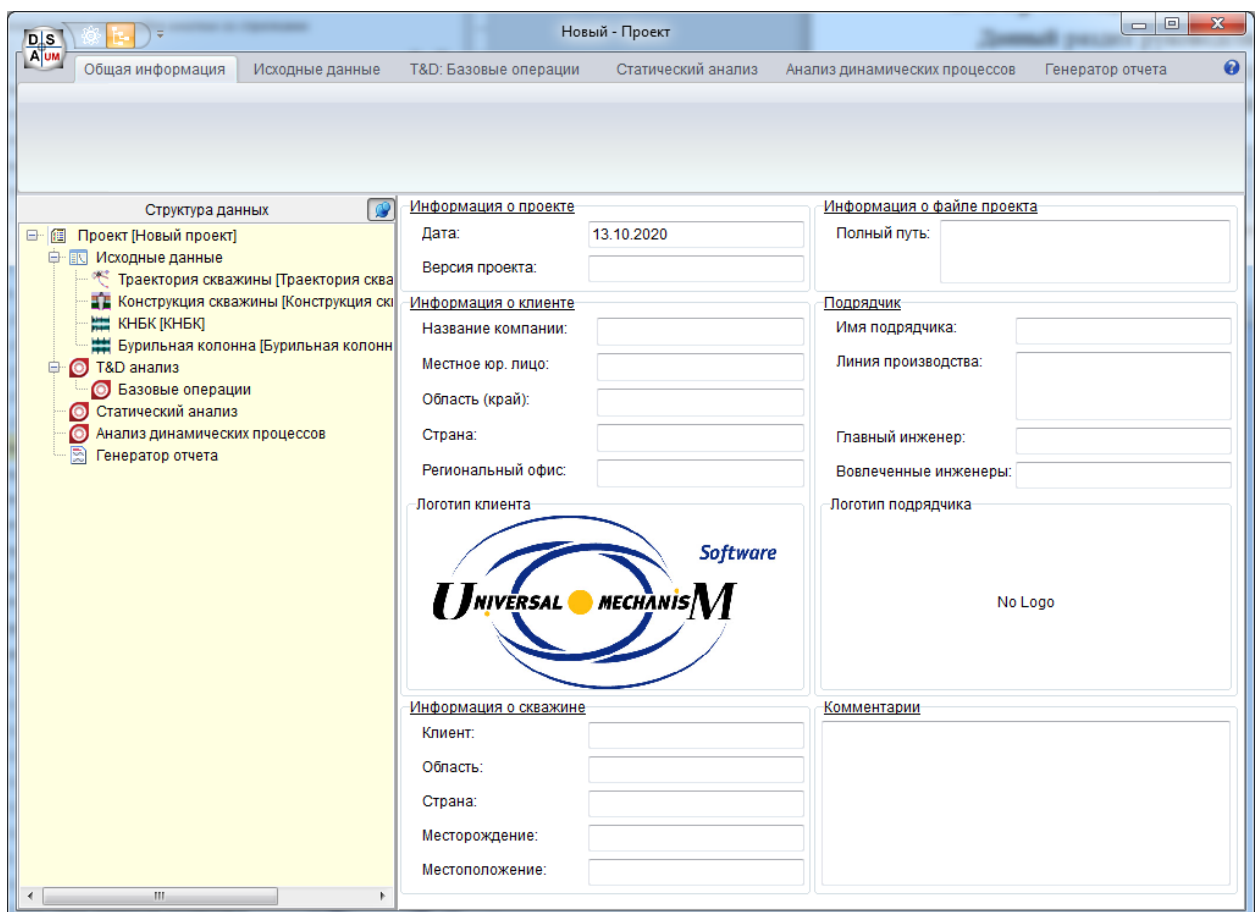
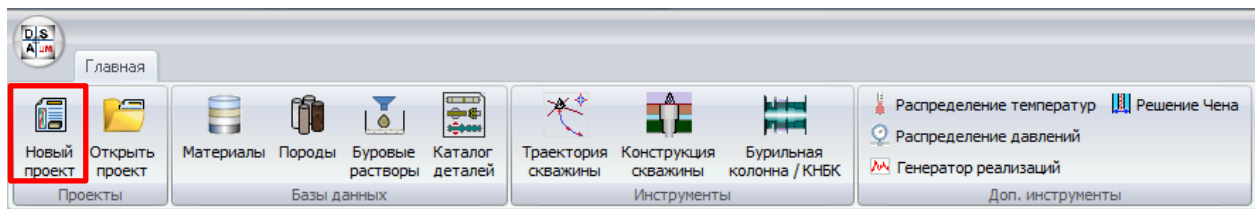
Параметры сценария		
Название	Роторное бурение 1	Роторное бурение 2
Описание скважины		
Траектория скважины:	Траектория скважины	Траектория скважины
Конструкция скважины:	Описание конструкции скважины	Описание конструкции скважины
Положение долота:	2680.64 м	2680.64 м
Исходные данные		
КНБК:	Вращательная КНБК	Вращательная КНБК
Бурильная колонна:	Верх БК	Верх БК
Параметры		
Нагрузка на долото, кН	44.4822	44.4822
Момент на долоте, кН*м	0	0
Скорость проходки, м/час	0	0
Скорость спуска (-)/подъема (+), м/мин	-	-
Скорость вращения, об/мин	0	0
Вес блока, кН	-	-
Вес прихв. части, кН	-	-
Цвет:		

2. Обучающий проект

Данный раздел руководства содержит пошаговые инструкции по созданию обучающего проекта, вводу исходных данных, описанию сценариев, запуску, контролю выполнения и анализа результатов расчета для следующих типов анализа:



- ✓ Статический анализ нижней компоновки буровой колонны (см. Раздел 2.3)
- ✓ Torque&Drag анализ буровой колонны (см. Раздел 2.4)
- ✓ Анализ динамики буровой колонны (см. Раздел 2.5)

Шаг 1.1. Создайте **Новый проект** с помощью кнопок главного меню; окно проекта откроется в главном окне приложения.

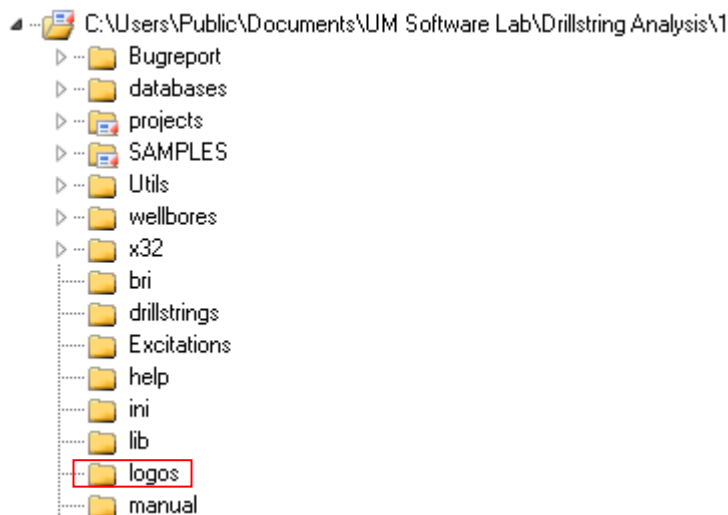


2.1. Ввод общей информации

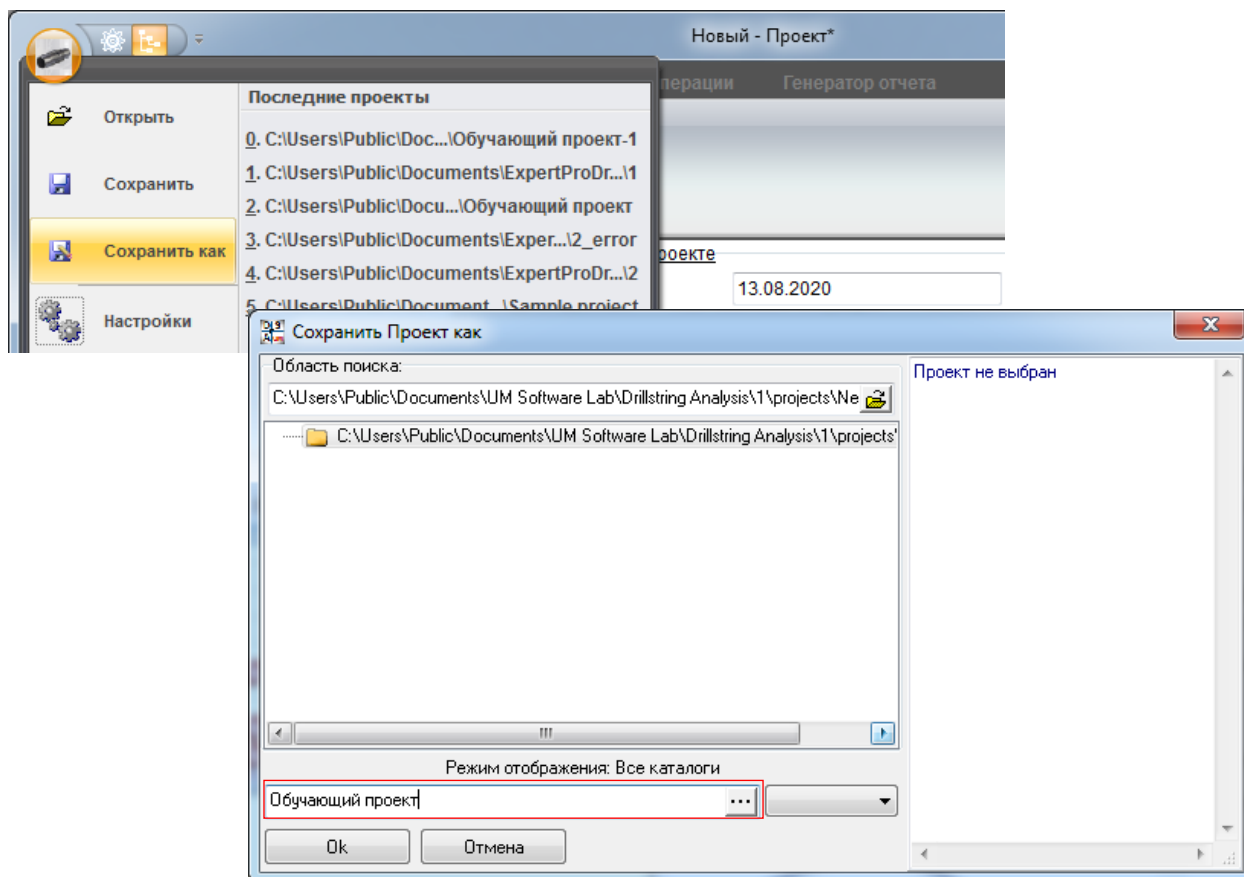
Шаг 2.1. Используйте закладку **Общая информация** для ввода общей информации о проекте – версии проекта, информации о клиенте и подрядчике, описании скважины и комментариям к проекту.

<p>Информация о проекте</p> <p>Дата: 13.10.2020</p> <p>Версия проекта:</p>	<p>Информация о файле проекта</p> <p>Полный путь: C:\Users\Public\Documents\UM Software Lab\Drillstring Analysis\1\projects\1</p>
<p>Информация о клиенте</p> <p>Название компании: Компания-Клиент</p> <p>Местное юр. лицо: экальное представительство</p> <p>Область (край): Нефтегазовый край</p> <p>Страна: Страна</p> <p>Региональный офис: Офис № 1</p> <p>Логотип клиента</p> 	<p>Подрядчик</p> <p>Имя подрядчика: Компания- Подрядчик</p> <p>Линия производства: оования, Линия строительства</p> <p>Главный инженер: Ведущий инженер</p> <p>Вовлеченные инженеры: ... и его команда</p> <p>Логотип подрядчика</p> 
<p>Информация о скважине</p> <p>Клиент: Компания-Клиент</p> <p>Область: Нефтегазовый край</p> <p>Страна: Страна</p> <p>Месторождение: Нефтяное поле</p> <p>Местоположение: Куст №15</p>	<p>Комментарии</p> <p>Обучающий проект - демонстрация различных типов анализа бурильной колонны в программе UM Drillstring Analysis.</p>

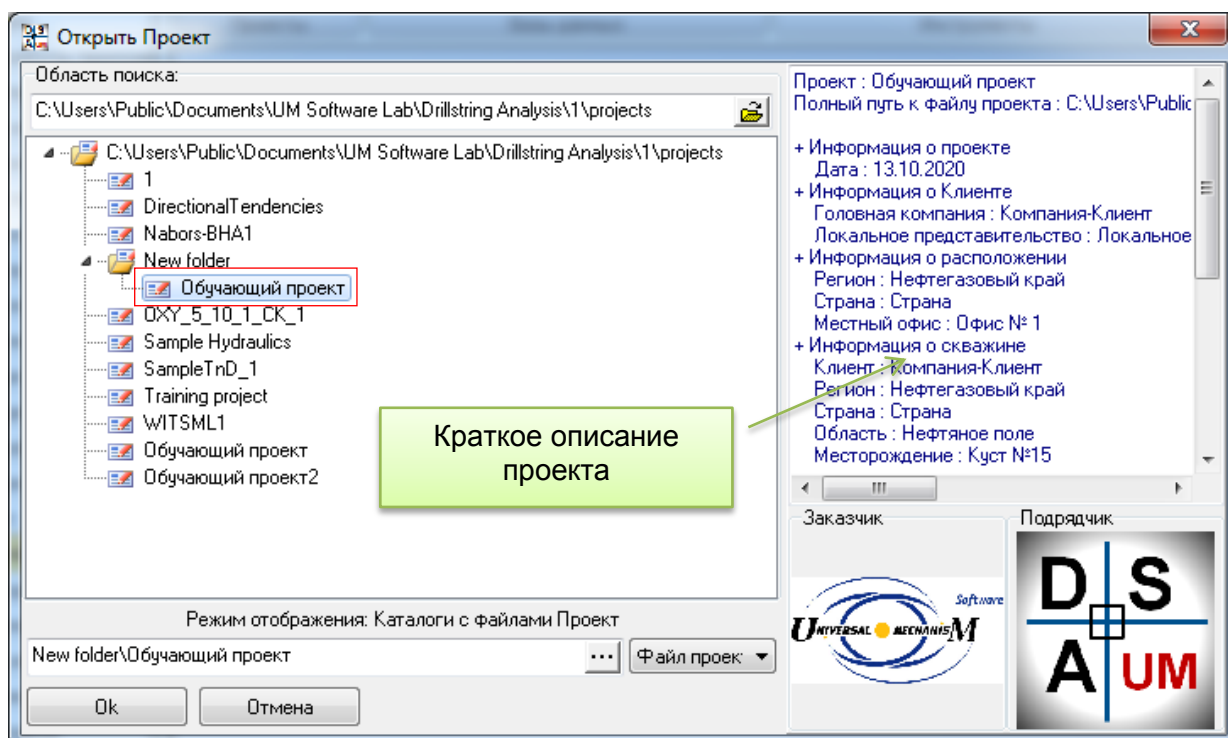
При необходимости добавьте логотипы компаний Заказчика и Подрядчика. Дважды щелкните на полях **Логотип Клиента** и **Логотип Подрядчика** для загрузки логотипов из графических файлов.



Шаг 2.2. Сохраните измененный проект под именем **Обучающий проект**.
Имя проекта отобразится в заголовке *Окна проекта*.



Шаг 2.3. Нажмите кнопку **Сохранить как** еще раз и выберите проект из списка. На правой панели отобразится краткое описание проекта. Закройте диалоговое окно - кнопка **Отмена**.



2.2. Описание исходных данных

В этом разделе рассматривается добавление в проект исходных данных, которые в дальнейшем будут использованы для различных типов анализа.

2.2.1. Траектория скважины

Шаг 3.1. В дереве *Структура данных* выберите узел **Исходные данные | Траектория скважины**.

На правой панели отобразится интерфейс редактора траектории скважины, подробно описанный в Разделе 1.2.2.

#	Длина ствола, м	Зенит, град	Азимут, град	Глубина, м
1	0.000	0.000	0.000	0.000
2	144.300	0.000	0.000	144.300
3	170.000	0.530	145.540	170.000
4	190.000	0.620	12.300	190.999
5	215.000	0.530	28.820	215.498
6	242.000	0.530	42.440	241.997
7	271.000	0.260	45.160	270.996
8	303.000	0.090	145.530	302.996
9	332.000	0.090	46.480	331.996
10	360.000	0.090	42.700	359.996
11	389.000	0.090	292.490	388.996
12	418.000	0.090	8.690	417.996
13	447.000	0.180	266.380	446.996
14	474.000	0.180	272.010	473.996
15	503.000	0.350	143.510	502.996
16	560.000	0.180	168.560	559.995
17	588.000	0.450	130.540	587.994
18	600.000	1.400	185.940	599.993
19	630.000	4.350	198.250	629.952
20	660.000	7.340	200.580	659.793
21	690.000	10.340	201.560	689.433

Шаг 3.2. Нажмите кнопку **Открыть** головного меню и загрузите описание скважины из файла <Рабочий каталог>\wellpaths\Пример описания траектории.wlp. Загруженная информация отобразится в таблице и на графиках справа.

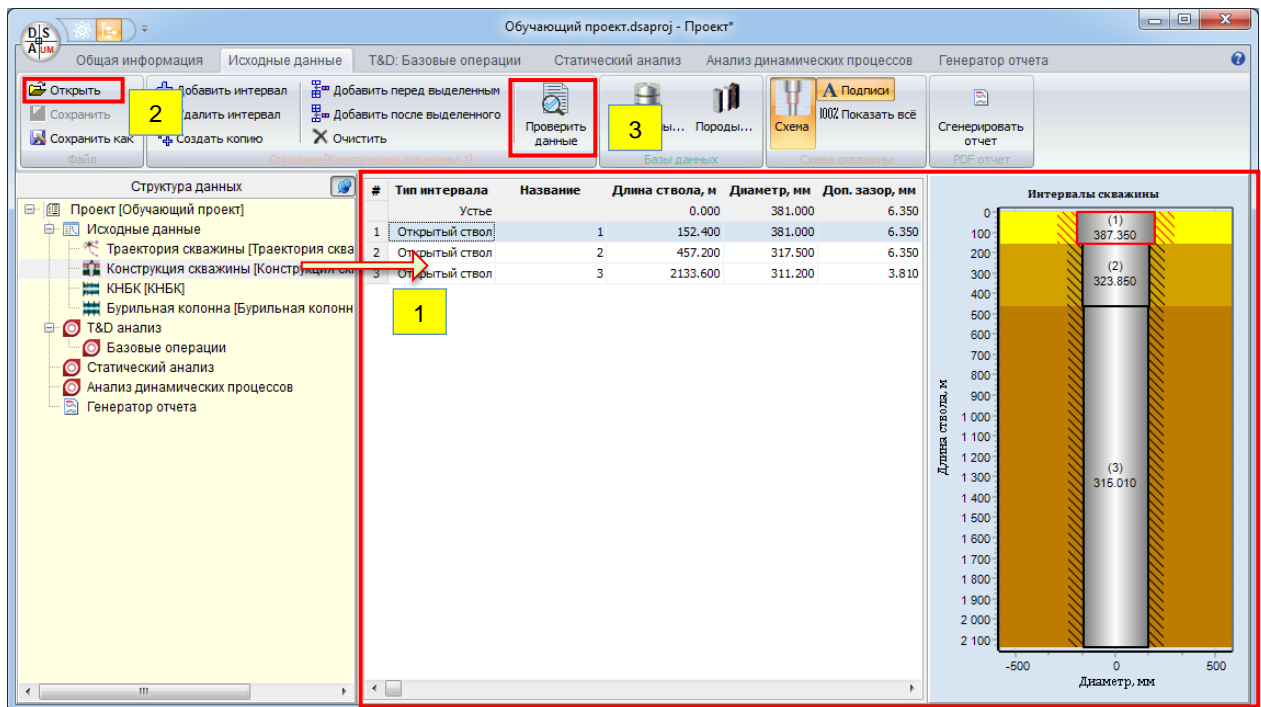
Внимание. Если Вы уже ввели какие-либо данные в описание, будет сформирован запрос на их удаление или сохранение перед загрузкой описания из файла.

Шаг 3.3. Нажмите кнопку **Проверить** головного меню. При корректном описании появится сообщение «Описание не содержит критических или потенциальных ошибок».

2.2.2. Конструкция скважины

Шаг 3.4. В дереве *Структура данных* выберите узел **Исходные данные | Конструкция скважины**.

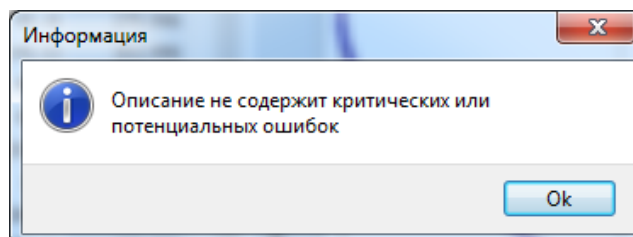
На правой панели отобразится интерфейс редактора конструкции скважины, подробно описанный в Разделе 1.2.3.



Шаг 3.5. Нажмите кнопку **Открыть** головного меню и загрузите описание конструкции скважины из файла *<Рабочий каталог>\wellbores\Пример конструкции скважины.wlb*. Загруженная информация отобразится в таблице и на схеме справа.

Внимание. Если Вы уже ввели какие-либо данные в описание, будет сформирован запрос на их удаление или сохранение перед загрузкой описания из файла.

Шаг 3.6. Нажмите кнопку **Проверить** головного меню. При корректном описании появится сообщение «Описание не содержит критических или потенциальных ошибок».



2.2.3. Компоновки низа колонны

В рамках тестового проекта мы рассмотрим три компоновки низа бурильной колонны: вращательную КНБК, КНБК с напорным двигателем (НД) и КНБК, включающую роторную систему управления (РУС).

Шаг 3.1. В дереве *Структура данных* выберите узел **Исходные данные | КНБК**.

2.2.3.1. Описание вращательной КНБК

Шаг 3.2. Нажмите кнопку **Открыть** головного меню и загрузите описание компоновки низа колонны из файла *<Рабочий каталог>\drillstrings\Пример вращательной КНБК.bha*. Загруженная информация отобразится в таблице и на схеме справа.

На правой панели отобразится интерфейс редактора компоновки колонны, подробно описанный в Разделе 1.2.4.

The screenshot shows the 'Обучающий проект.dsaproj - Проект*' window. The 'Исходные данные' tab is active. The 'Открыть' button is highlighted with a red box and a yellow '2'. The 'Проверить' button is highlighted with a red box and a yellow '3'. A yellow '1' points to a selected item in the 'Забой' table.

Деталь/Секция	Описан...	Кол-во	Тип	Нардиам...	Внутриди...	Конт.диа...	Д
12 1/4" PDC Bit		1		311.15	25.4	311.15	
12 1/4" Stabilizator		1		209.55	76.2	311.15	
8 1/4" Collar		1		209.55	76.2	209.55	
Special tool		1		209.55	132.84	209.55	
12 3/16" Stabilizator		1		209.55	78.74	309.57	
MWD tool		1		209.55	131.32	209.55	
Crossover		1		209.55	76.2	209.55	
12 1/4" Roller Reamer		1		311.15	71.12	311.15	
Collar		1		203.2	71.12	203.2	
Float Sub		1		203.2	76.2	203.2	
XO Sub 3.0		1		203.2	76.2	203.2	
6 5/8" x 4 1/2",HWDP	6 5/8" x ...	4		203.2	114.3	203.2	
8" Jars		1		203.2	76.2	203.2	
6 5/8" x 4 1/2",HWDP	6 5/8" x ...	5		203.2	114.3	203.2	
8" Accelerator		1		203.2	76.2	203.2	
6 5/8" x 4 1/2",HWDP	6 5/8" x ...	2		203.2	114.3	203.2	
Sub 2.8		1		203.2	71.12	203.2	
5" Drill Pipe, 28 ppf		1		177.8	101.6	177.8	
Dart Sub		1		127	76.2	127	
5" Drill Pipe, 28 ppf		1		177.8	101.6	177.8	

Below the table is a longitudinal section diagram of the drillstring, labeled 'Продольное сечение БК'. The x-axis is 'Расстояние от долота, м' (0 to 160) and the y-axis is 'Диаметр, мм' (-100 to 100).

Шаг 3.3. Нажмите кнопку **Проверить** головного меню для проверки корректности описания компоновки.

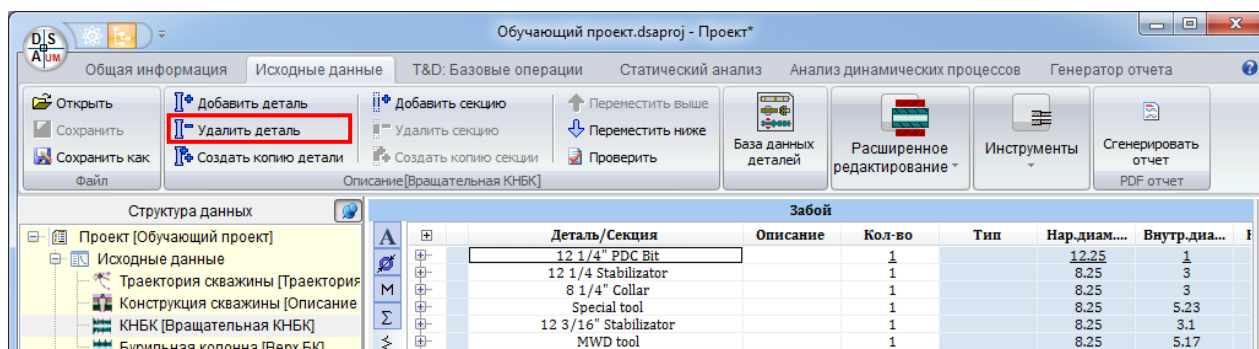
2.2.3.1.1. Сборка модели из элементов базы данных

В этом разделе приводится пример описания КНБК с использованием элементов базы данных деталей бурильной колонны. Если вы уже освоили этот функционал, пропустите данный раздел и перейдите к шагу на странице 78.

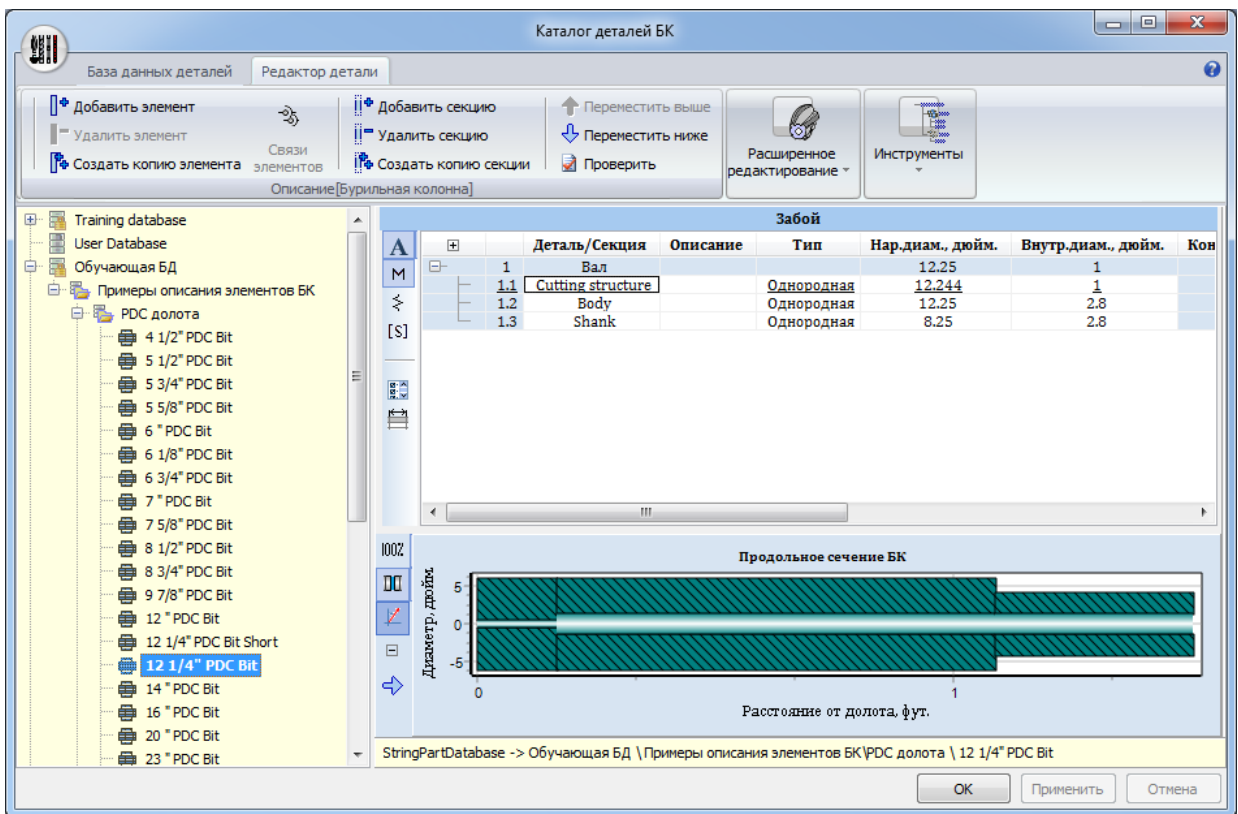
Опишем компоновку вращательной КНБК, состоящей из следующих деталей:

	Описание	Категория	Кол-во	Длина сборки
1	12 1/4" PDC Bit	PDC долота	1	1.45
2	12 1/4" Stabilizer	Стабилизаторы	1	4.55
3	8 1/4" Collar	Нижние утяжеленные трубы (Drilling collars)	1	9.45
4	Special tool	LWD tools	1	37.45
5	12 3/16" Stabilizer	Стабилизаторы	1	43.45
6	MWD tool	LWD tools	1	65.45
7	Crossover	Crossover	1	67.45
8	12 1/4" Roller Reamer	Расширители	1	77.45
9	Collar	Нижние утяжеленные трубы (Drilling collars)	1	107.45
10	Float Sub	Муфты	1	109.45
11	XO Sub 3.0	Муфты	1	111.45
12	6 5/8" HWDP	Утяжеленные буровые трубы	4	231.05
13	8" Jars	Яссы	1	261.05
14	6 5/8" HWDP	Утяжеленные буровые трубы	5	410.05
15	Accelerator	Ускорители	1	440.06
16	6 5/8" HWDP	Утяжеленные буровые трубы	2	500.4
17	XO Sub 2.8	Муфты	1	502.4
18	5" Drill Pipe	Бурильные трубы	1	533.4
19	Dart Sub	Муфты	1	536.4
20	5" Drill Pipe	Бурильные трубы	1	567.4

Шаг 3.4. Очистим ранее загруженное описание КНБК. Для этого выберите одну из строк описания компоновки и последовательно удалите все детали.

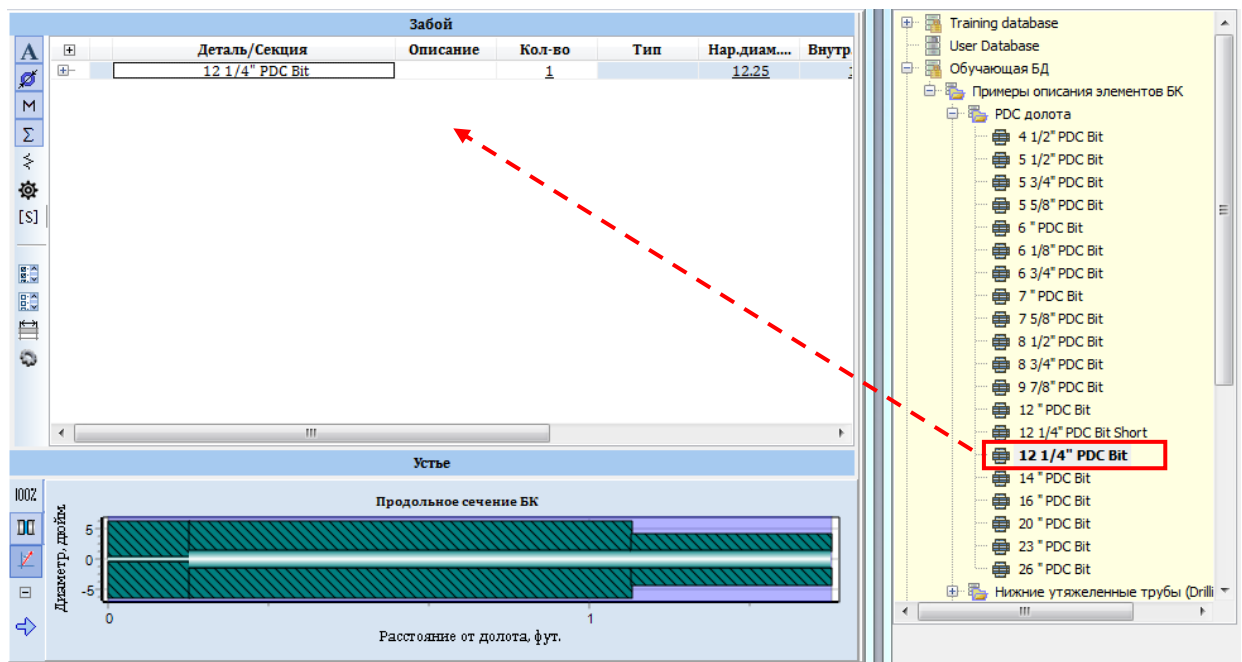


Шаг 3.5. Откройте *Каталог деталей* с помощью кнопки главного меню и выберите в дереве ветку **Обучающая БД->Примеры описания элементов БК.**



Шаг 3.6. Перейдите в подкаталог **PDC долота**, выберите деталь **12 ¼ PDC Bit** и перетащите ее на поле *Редактора компоновки*.

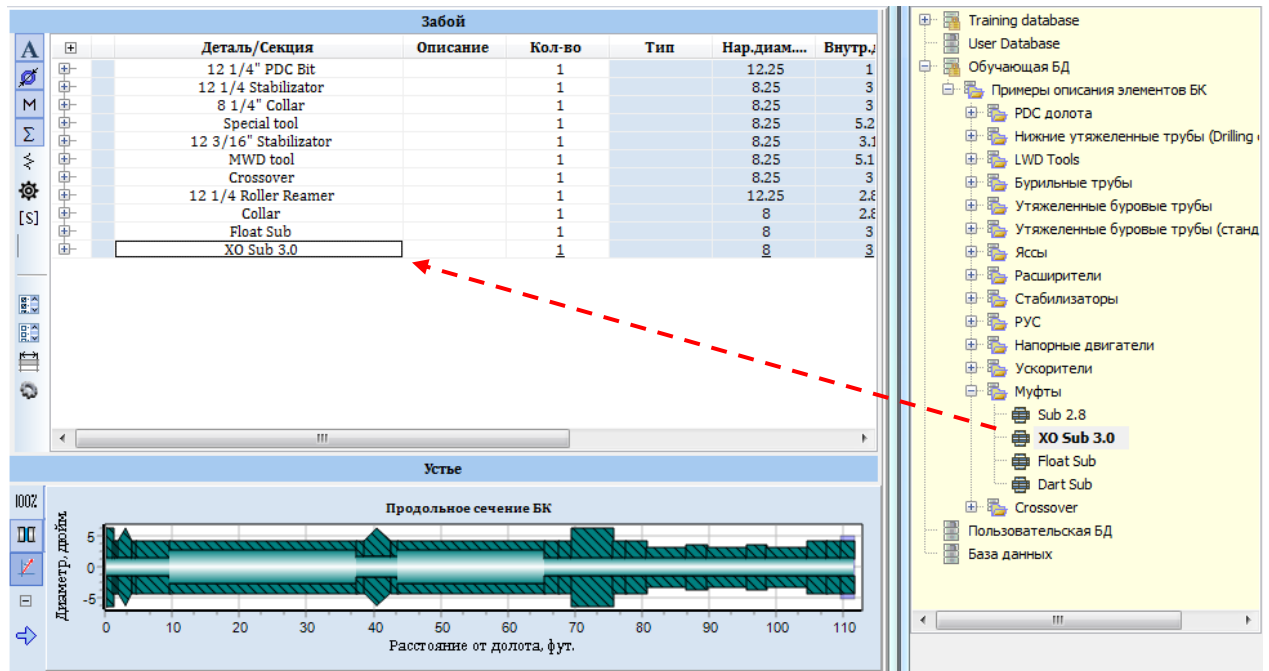
Новый компонент будет добавлен к описанию компоновки Вращательной КНБК, продольное сечение отобразится на схеме снизу.



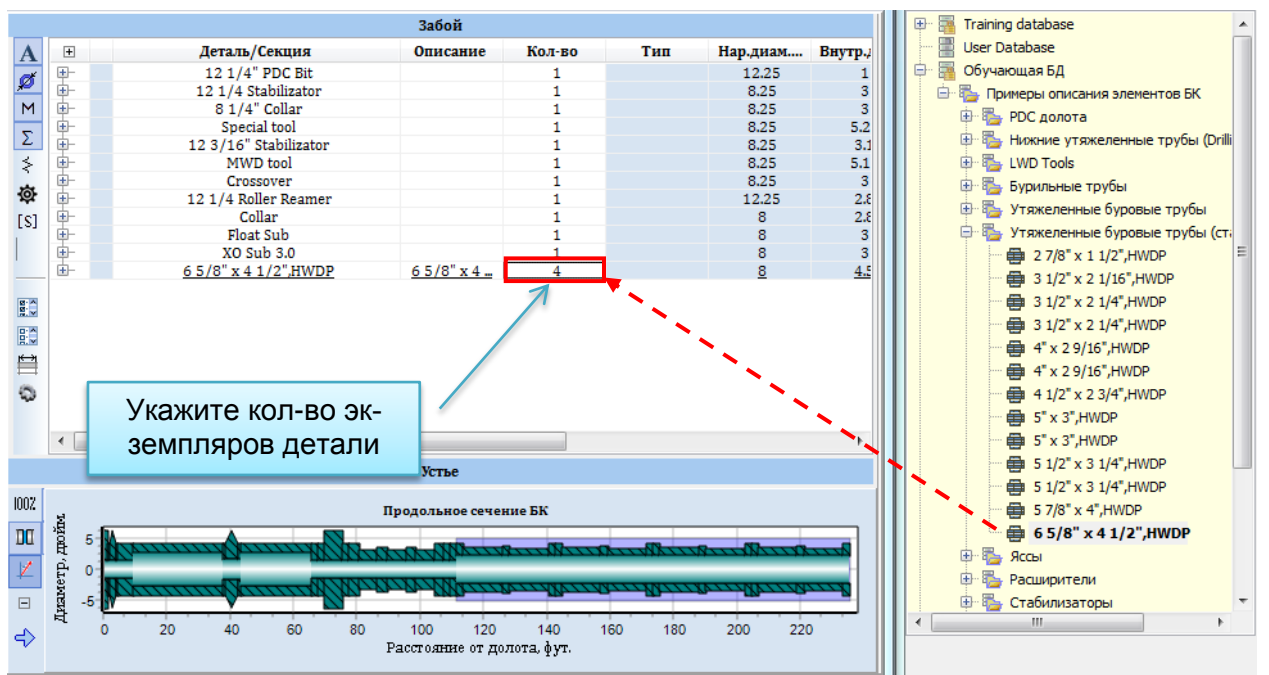
Шаг 3.7. Последовательно добавьте следующие детали: **12 1/4" Stabilizer, Collar, Special tool, 12 3/16" Stabilizer, MWD tool, Crossover, 12 1/4" Roller Reamer, Collar, Float Sub** и **XO Sub 3.0**.

Новые компоненты при перетаскивании добавляются к концу списка; для изменения их положения – при необходимости – воспользуйтесь

кнопками .



Шаг 3.8. Для добавления четырех деталей **6 5/8" HWDP**, можно перетащить элемент каталога деталей четыре раза, либо задать количество экземпляров детали в соответствующем столбце таблицы.



Шаг 3.9. Последовательно добавьте оставшиеся элементы компоновки: **8" Jars, 5 x 6 5/8" HWDP, Accelerator, 2 x 6 5/8" HWDP, XO Sub 2.8, 5" Drill Pipe, Dart Sub и 5" Drill Pipe.**

Забой											
	Деталь/Секция	Описан...	Кол-во	Тип	Нар.диам....	Внутр.диам...	Конт.диам...	Длина, фут.	Матер...	Длина БК...	
	12 1/4" PDC Bit		1		12.25	1	12.25	1.5026	Сталь 40	1.5026	
	12 1/4 Stabilizer		1		8.25	3	12.25	2.9987	Сталь 40	4.5013	
	8 1/4" Collar		1		8.25	3	8.25	5	Сталь 40	9.5013	
	Special tool		1		8.25	5.23	8.25	27.999	Сталь 40	37.5	
	12 3/16" Stabilizer		1		8.25	3.1	12.188	6	Сталь 40	43.5	
	MWD tool		1		8.25	5.17	8.25	22.001	Сталь 40	65.501	
	Crossover		1		8.25	3	8.25	2	Сталь 40	67.501	
	12 1/4 Roller Reamer		1		12.25	2.8	12.25	10	Сталь 40	77.501	
	Collar		1		8	2.8	8	30	Сталь 40	107.5	
	Float Sub		1		8	3	8	2	Сталь 40	109.5	
	XO Sub 3.0		1		8	3	8	2	Сталь 40	111.5	
	6 5/8" x 4 1/2" HWDP	6 5/8" x ...	4		8	4.5	8	124	Сталь 40	235.5	
	8" Jars		1		8	3	8	30	Сталь 40	265.5	
	6 5/8" x 4 1/2" HWDP	6 5/8" x ...	5		8	4.5	8	155	Сталь 40	420.5	
	8" Accelerator		1		8	3	8	30	Сталь 40	450.5	
	6 5/8" x 4 1/2" HWDP	6 5/8" x ...	2		8	4.5	8	62	Сталь 40	512.5	
	Sub 2.8		1		8	2.8	8	2	Сталь 40	514.5	
	5" Drill Pipe, 28 ppf		1		7	4	7	31.001	Сталь 40	545.5	
	Dart Sub		1		5	3	5	2.9987	Сталь 40	548.5	
	5" Drill Pipe, 28 ppf		1		7	4	7	31.001	Сталь 40	579.5	

Устье											
Продольное сечение БК											
Диаметр, дюйм	Расстояние от долота, фут.										
5	0										
0	0										
-5	0										
	550										

Для проверки убедитесь, что полная длина компоновки составляет 579.5 футов (176.63 метров).

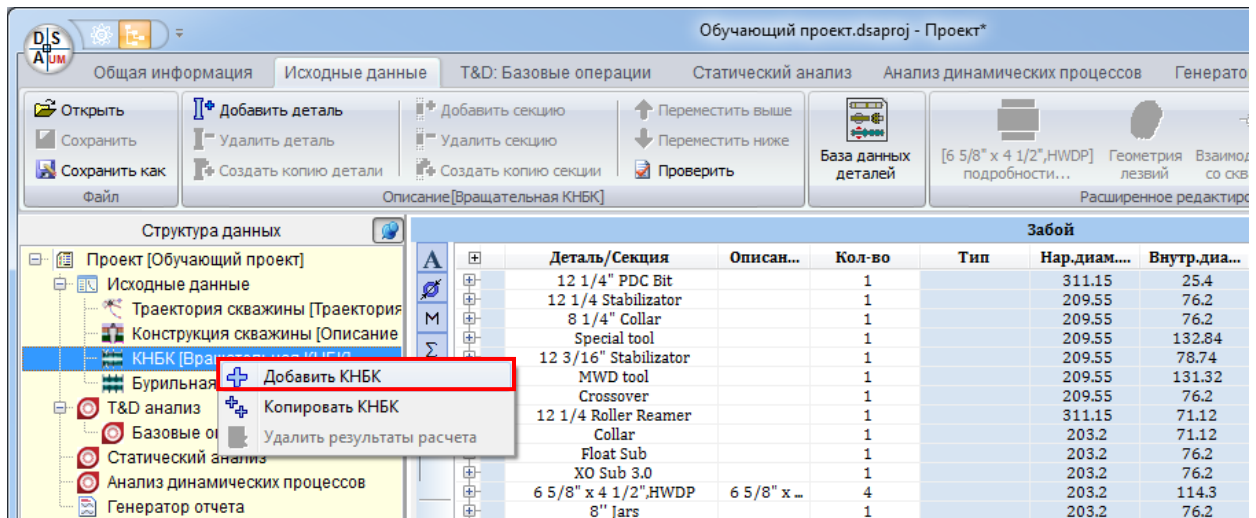
Шаг 3.10. Нажмите кнопку **Проверить** головного меню для проверки корректности описания компоновки.

Внимание. Для изменения названия элемента исходных данных (**Траектория скважины, Конструкция скважины, КНБК или Верх БК**) необходимо выбрать соответствующий узел в дереве навигации, и воспользоваться опцией контекстного меню **Переименовать**.

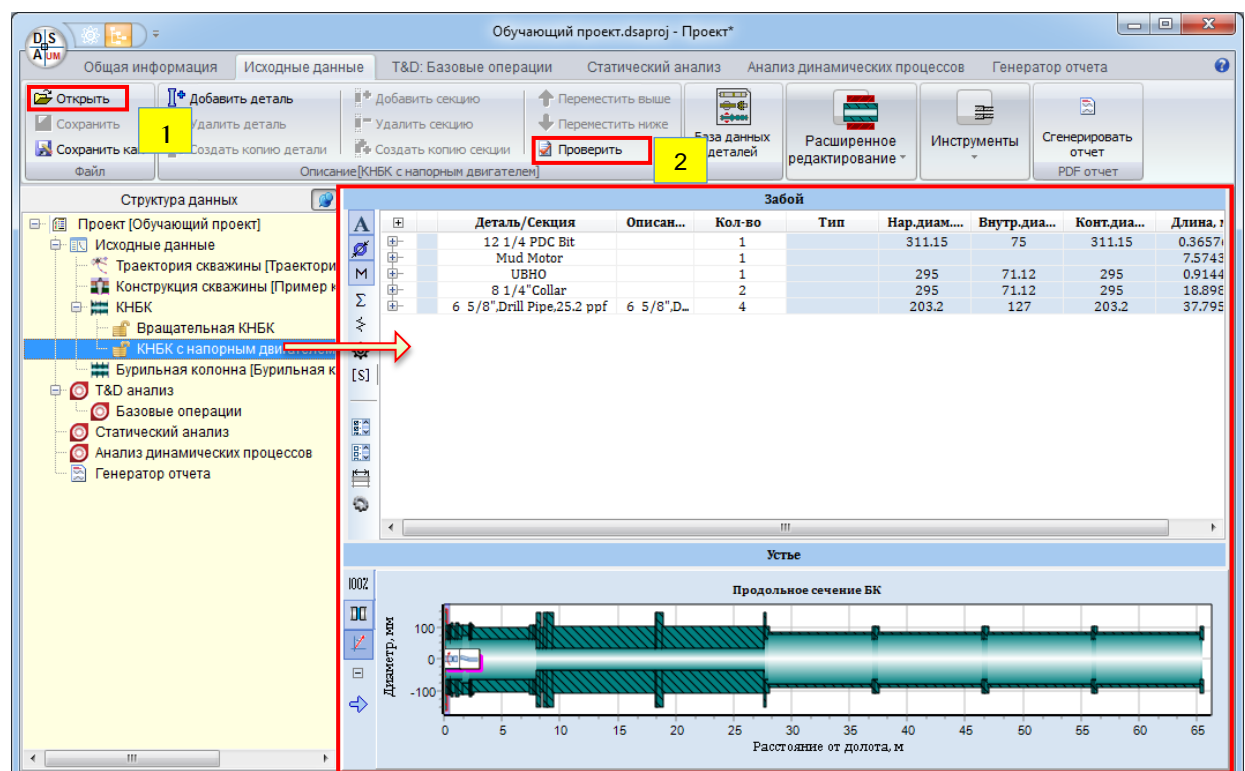
Шаг 3.1. Нажмите кнопку **Проверить** головного меню.

2.2.3.2. Описание КНБК с напорным двигателем

Шаг 3.11. В дереве *Структура данных* выберите узел **Исходные данные** | **КНБК** и в контекстном меню выберите пункт **Добавить КНБК**.



Шаг 3.12. Нажмите кнопку **Открыть** головного меню и загрузите описание компоновки низа колонны из файла <Рабочий каталог>\drillstrings\Пример КНБК с напорным двигателем.bha. Загруженная информация отобразится в таблице и на схеме справа.



Шаг 3.13. Выберите опцию контекстного меню дерева навигации и переименуйте новую компоновку в *КНБК с напорным двигателем*.

Шаг 3.14. Нажмите кнопку **Проверить** головного меню для проверки корректности описания компоновки.

2.2.3.2.1. Настройка управляемых параметров модели напорного двигателя

Добавленная компоновка включает упрощенную модель напорного двигателя – деталь **4.75 Motor**, включающую набор управляемых параметров - параметров, доступных для изменения при описании сценария (см. Раздел).

Для примера рассмотрим управляемые параметры модели мотора.

Шаг 3.15. Выберите строку редактора, содержащую описание детали **4.75 Motor** и нажмите на кнопку **[] подробности...** главного меню редактора. Описание детали откроется в отдельном окне *Редактора детали*.

Забой

Деталь/Се...	Кол-во	Нар.диам....	Внутр.диам...	Длина, м	Пог. Масс...	Длина БК...	Макс.крут...	Макс.осев.сила, кН
12 1/4 PD...	1	311.15	75	0.36476	334.17	0.36576	0	0
Mud Motor	1			7.5743	146.1	7.94	0	0
ОВНО	1	295	71.12	0.9144	140.95	8.8544	0	0
8 1/4" Collar	2	295	71.12	18.398	250.51	27.752	0	0
6 5/8" Dril...	4	203.2	127	37.795	39.282	65.547	0	0

Муд мотор - Редактор детали

Описание [Бурильная колонна]

Забой

Деталь/Секция	Нар.диам., мм	Внутр.диам., мм	Длина, м	Смещение по валу, м	Пог. Масса, кг/м	Длина БК, м	Ма
1 Вал			7.5743	0	146.1	7.5743	
1.1 Lower Bit Box	209.55	127	0.0254		171.29	0.0254	
1.2 Middle Bit Box	209.55	127	0.13411		171.29	0.15951	
1.3 Upper Bit Box	209.55	127	0.0254		171.29	0.18491	
1.4 Neck	225	105	0.073152		244.15	0.25806	
1.5 Lower Bearing	203	127	0.38481		154.63	0.64287	
1.6 Middle Bearing	225	127	0.1397		212.68	0.78257	
1.7 Upper Bearing	209.55	127	0.48235		171.29	1.2649	
1.8 Bearing Adaptor	209.55	145	0.52959		141.1	1.7945	
1.9 Lower Adjustable	225	127	0.073152		212.68	1.8677	
1.10 Upper Adjustable	209.55	127	0.065786		171.29	1.9334	
1.11 Lower Stator	209.55	127	0.021844		171.29	1.9553	
1.12 Middle Stator	209.55	127	0.021844		171.29	1.9771	
1.13 Upper Stator	209.55	127	0.021844		171.29	1.999	
1.14 Power Section	195	127	5.0292		135	7.0282	
1.15 Lower_Top_Sub	209.55	127	0.3081		171.29	7.3363	
1.16 Middle_Top_Sub	209.55	127	0.1397		171.29	7.476	
1.17 Upper_Top_Sub	209.55	127	0.098298		171.29	7.5743	

Устье

Продольное сечение БК

Расстояние от долота, м

Система единиц: СИ Режим:

Для корректной реализации работы модели напорного двигателя в модели задано два соединения секций специальных типов:

- соединение типа «Изгиб» применяется для реализации возможности отклонения нижней части детали относительно осевой линии верхней части.
- Соединение типа «Забойный двигатель» для реализации вращения нижней части мотора относительно верхней с заданной угловой скоростью.

Шаг 3.16. Выделите соединение «Изгиб», нажав на соответствующую иконку на продольном сечении детали, либо выделив секцию **Lower Adjustable** в таблице; в группе **Расширенное редактирование** нажмите кнопку **Соединение секций**.

Мud Motor - Редактор детали

Редактор детали

Добавить элемент, Удалить элемент, Создать копию элемента, Добавить секцию, Удалить секцию, Создать копию секции, Переместить выше, Переместить ниже, Проверить, Расширенное редактирование, Инструменты, Редактор

		Забой						Диаметр, м	Материал
	Деталь/Секция	Описание	Тип	Нар.диам., мм	Внутр.диам., мм	Нар.диам., мм	Внутр.диам., мм		
1	Вал								
1.1	Lower_Bit_Box		Однородная	209.55	127				ST
1.2	Middle_Bit_Box		Однородная	209.55	127				ST
1.3	Upper_Bit_Box		Однородная	209.55	127				ST
1.4	Neck		Однородная	225	105	225	0.073152		ST
1.5	Lower_Bearing		Однородная	203	127	203	0.38481		ST
1.6	Middle_Bearing		Однородная	225	127	225	0.1397		ST
1.7	Upper_Bearing		Однородная	209.55	127	209.55	0.48235		ST
1.8	Bearing_Adaptor		Однородная	209.55	145	209.55	0.52959		ST
1.9	Lower_Adjustable		Однородная	225	127	225	0.073152		ST
1.10	Upper_Adjustable		Однородная	209.55	127	209.55	0.065786		ST
1.11	Lower_Stator		Однородная	209.55	127	209.55	0.021844		ST
1.12	Middle_Stator		Однородная	209.55	127	209.55	0.021844		ST
1.13	Upper_Stator		Однородная	209.55	127	209.55	0.021844		ST
1.14	Power_Section		Однородная	195	127	195	5.0292		ST
1.15	Lower_Top_Sub		Однородная	209.55	127	209.55	0.3081		ST
1.16	Middle_Top_Sub		Однородная	209.55	127	209.55	0.1397		ST
1.17	Upper_Top_Sub		Однородная	209.55	127	209.55	0.098298		ST

Устье

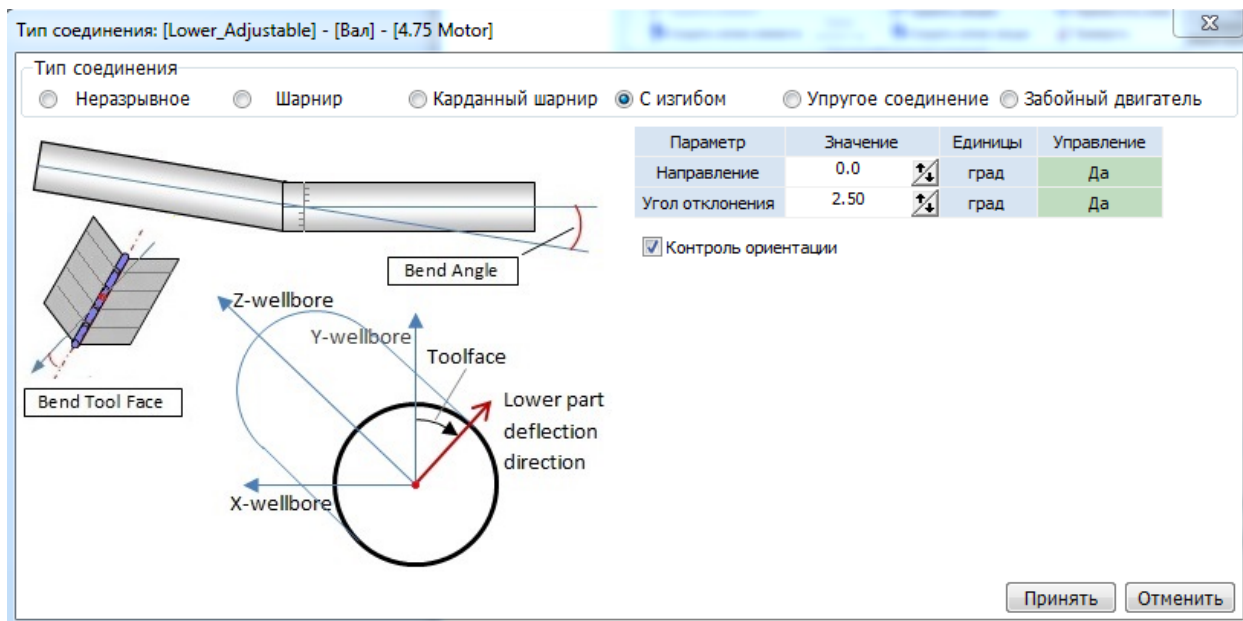
Продольное сечение БК

Диаметр, мм

Расстояние от долота, м

Система единиц: СИ | Режим:

Описание свойств соединения отобразится в окне редактора.



Управляемыми параметрами для данного соединения являются:

- **Направление** – ориентация направления отклонения нижнего конца детали (при положительном значении поворота) в СК скважины (см. Раздел 3.1.1) задается углом от 0 до 360град, отсчитываемым от «вертикальной» оси (оси Y) СК скважины в данной точке траектории скважины.
- **Угол отклонения** – угол поворота нижней части относительно верхней вокруг выбранной оси.

Внимание! Компоновки, оснащенные напорным двигателем, применяются в двух режимах - без вращения верха колонны и с вращением верха колонны. В первом случае (без вращения верха) стремятся удержать ориентацию отклоняемой части, во втором – нижняя часть вращается в отклоненном положении.

Для выбора режима работы модели служит опция **Контроль ориентации**. Если опция включена – ориентация отклоненной части будет сохраняться при любых движениях компоновки, если нет – ориентация будет определяться углом поворота верхней части модели мотора.

Шаг 3.17. Убедитесь, что опция **Управление** выставлена на «Да» для обоих параметров и включена опция **Контроль ориентации**.

Шаг 3.18. Закройте окно описания свойств соединения (кнопка «Принять», если были внесены изменения, либо «Отменить»)

Шаг 3.19. Откройте описание соединения «Забойный двигатель», дважды щелкнув на соответствующей иконке на продольном сечении детали, либо выделив секцию **Neck** в таблице и воспользовавшись кнопкой **Соединение секций** главного меню Редактора детали.

Редактор детали

Добавить элемент, Удалить элемент, Создать копию элемента, Добавить секцию, Удалить секцию, Создать копию секции, Переместить выше, Переместить ниже, Проверить, Расширенное редактирование, Инструменты, Редактор

Забой					
	Деталь/Секция	Описание	Тип	Нар.диам., мм	Внутр.диам.
1	Вал				
1.1	Lower_Bit_Box		Однородная	209.55	127
1.2	Middle_Bit_Box		Однородная	209.55	127
1.3	Upper_Bit_Box		Однородная	209.55	127
1.4	Neck		Однородная	225	105
1.5	Lower_Bearing		Однородная	203	127
1.6	Middle_Bearing		Однородная	225	127
1.7	Upper_Bearing		Однородная	209.55	127
1.8	Bearing_Adaptor		Однородная	209.55	145
1.9	Lower_Adjustable		Однородная	225	127
1.10	Upper_Adjustable		Однородная	209.55	127
1.11	Lower_Stator		Однородная	209.55	127
1.12	Middle_Stator		Однородная	209.55	127
1.13	Upper_Stator		Однородная	209.55	127
1.14	Power_Section		Однородная	195	127
1.15	Lower_Top_Sub		Однородная	209.55	127
1.16	Middle_Top_Sub		Однородная	209.55	127
1.17	Upper_Top_Sub		Однородная	209.55	127

Устье

Продольное сечение БК

Система единиц: СИ

Режим:

Тип соединения: [Neck] - [Вал] - [4.75 Motor]

Тип соединения: Неразрывное Шарнир Карданный шарнир С изгибом Упругое соединение Забойный двигатель

Тип описания забойного двигателя: Частота вращения Скорость потока

Параметр	Значение	Единицы	Управление
Число лезвий ротора	3.0000		Нет
Скорость вращения	0.0000	об/мин	Да
Эксцентриситет	10.0000	мм	Нет
Интегр. коэф. контроля скорости	15000.0000	Н*м/рад	Нет
Пропорц. коэф. контроля скорости	200000.0000	(Н*м)/(рад/сек)	Нет

Принять Отменить

Шаг 3.20. Убедитесь, что параметр **Скорость вращения** является управляемым (значение можно будет изменять в описании сценария).

Шаг 3.21. Закройте окно описания свойств соединения (кнопка «Принять», если были внесены изменения, либо «Отменить»)

2.2.3.3. Описание КНБК с РУС

Шаг 3.22. В дереве *Структура данных* выберите узел **Исходные данные** | **КНБК** и в контекстном меню выберите пункт **Добавить КНБК**.

Шаг 3.23. Нажмите кнопку **Открыть** головного меню и загрузите описание компоновки низа колонны из файла <Рабочий каталог>\drillstrings\Пример КНБК с РУС.bha. Загруженная информация отобразится в таблице и на схеме справа.

Обучающий проект.dsaproj - Проект*

Общая информация | Исходные данные | T&D: Базовые операции | Статический анализ | Анализ динамических процессов | Генератор отчета

Открыть | Добавить деталь | Добавить секцию | Переместить выше | База данных деталей | Расширенное редактирование | Инструменты | Сгенерировать отчет

Сохранить | Удалить секцию | Удалить деталь | Переместить ниже | Описание[КНБК с РУС] | Проверить | PDF отчет

Структура данных

Проект [Обучающий проект]

- Исходные данные
 - Траектория скважины [Траектория скважины]
 - Конструкция скважины [Пример]
 - КНБК
 - Вращательная КНБК
 - КНБК с напорным двигателем
 - КНБК с РУС**
 - Бурильная колонна [Бурильная колонна]
- T&D анализ
- Базовые операции
- Статический анализ
- Анализ динамических процессов
- Генератор отчета

Деталь/Секция	Описан...	Кол-во	Тип	Нар.диам...	Внутр.диа...	Конг.диа...	Длина, м
12 1/4 PDC Bit		1		311.15	25.4	311.15	0.3048
Sample RSS	RSS	1					4.1056
IBS		1		209.55	127	305	1.524
Downhole Filter Sub		1		207	127	207	0.9144
Data sub		2		209	127	209	3.6576
1/8" UG STB bored for flo...		1		209.55	127	305	1.524
Cougar Mec Thruster		1		207.5	127	207.5	3.9624
UBHO		1		207.5	135	207.5	2.3348
MWD		1		209.55	127	209.55	9.4488
IBS		1		209	127	305	1.524
NMDC		1		209.55	127	209.55	9.144
Byrpass sub		1		207	127	207	2.3348
8 1/4" Drill Collar	8 1/4",D_...	12		209.55	71.438	209.55	113.39
6 5/8",Drill Pipe.25.2 ppf	6 5/8",D_...	5		203.2	127	203.2	47.244

Устье

Продольное сечение БК

Диаметр, мм

Расстояние от долота, м

Шаг 3.24. Нажмите кнопку **Проверить** головного меню для проверки корректности описания компоновки.

2.2.3.3.1. Настройка управляемых параметров модели РУС

Добавленная компоновка включает модель роторной управляемой системы (РУС) типа Point-The-Bit – **PD 675 X6 9 7/8"**, включающую набор управляемых параметров - параметров, доступных для изменения при описании сценария (см. Раздел).

Для примера рассмотрим управляемые параметры модели РУС.

Шаг 3.25. Выберите строку редактора, содержащую описание детали **PD 675 X6 9 7/8"** и нажмите на кнопку **[] подробности...** главного меню редактора. Описание детали откроется в отдельном окне *Редактора детали*.

The screenshot shows the 'Sample RSS - Редактор детали' window. The table below is a reproduction of the data visible in the interface.

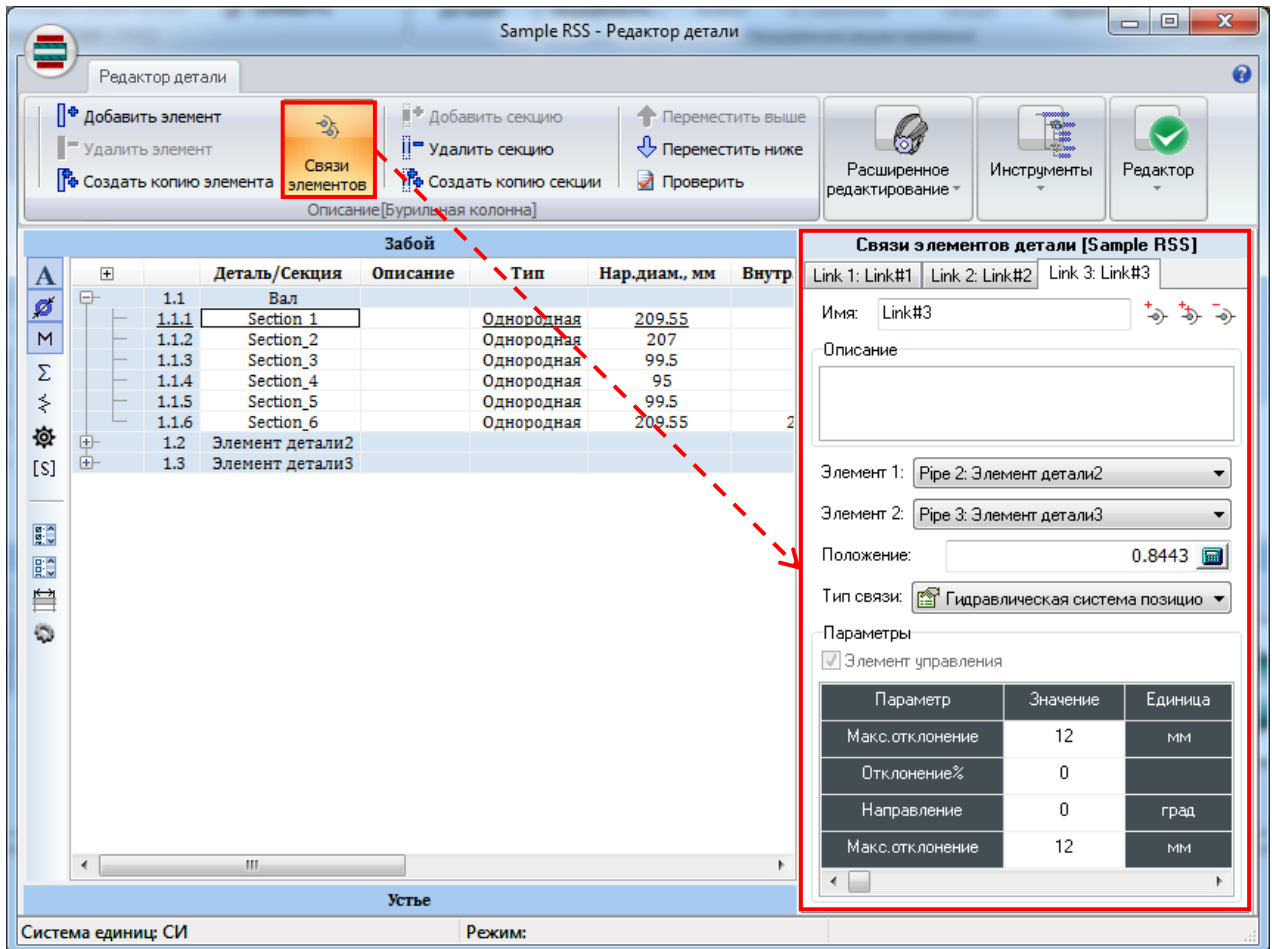
Деталь/Секция	Описание	Тип	Нар.диам., мм	Внутр.диам., мм	Конт.диам., мм	Длина, м	Смещение
1.1	Вал					4.1056	
1.1.1	Section_1	Однородная	209.55	50.8	209.55	0.30194	
1.1.2	Section_2	Однородная	207	50.8	207	0.16953	
1.1.3	Section_3	Однородная	99.5	50.8	99.5	0.51461	
1.1.4	Section_4	Однородная	95	50.8	95	0.0351	
1.1.5	Section_5	Однородная	99.5	50.8	99.5	0.42627	
1.1.6	Section_6	Однородная	209.55	27.686	209.55	2.6582	
1.2	Элемент детали2					0.47339	0.72
1.3	Элемент детали3					0.535	0.85

The diagram below the table shows a longitudinal cross-section of the drillstring, labeled 'Продольное сечение БК'. The x-axis is 'Расстояние от долота, м' (0 to 4) and the y-axis is 'Диаметр, мм' (-150 to 150). The diagram shows various components including the drill bit, sections, and bearings.

Для описания модели РУС использованы три элемента – *Вал* и две внешние детали, и три связи элементов – два подшипниковых узла между *Валом* и *Элементом №2*, и гидравлическая система позиционирования между *Элементом №2* и *Элементом №3*.

Элемент №2 закреплен на Валу; гидравлическая система обеспечивает смещение Элемента №2 относительно Элемента №3 на заданную величину (**Отклонение %** x **Максимальное отклонение**) в заданном направлении; Элемент №3 в свою очередь взаимодействует со стенками скважины.

Шаг 3.26. Для получения доступа к описанию связей элементов выберите пункт **Связи элементов** из группы **Инструменты**. Дерево описания детали отобразится справа от таблицы.




Шаг 3.27. Выберите связь **Link 3** и убедитесь что параметр **Максимальное отклонение** имеет ненулевое значение (8 миллиметров).

Примечание! Связь типа «Гидравлическая система позиционирования» по умолчанию имеет два управляемых параметра – **Отклонение %** и **Направление**.

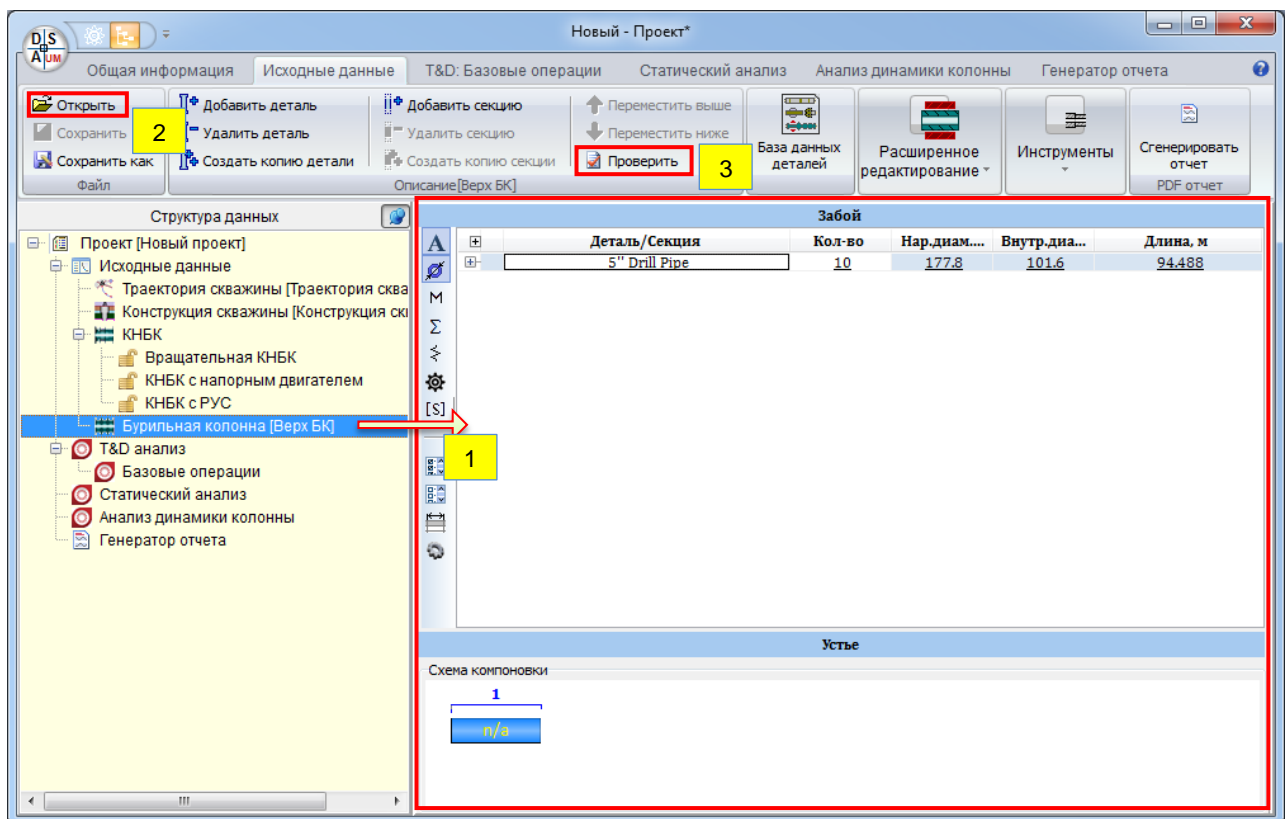
Шаг 3.28. Закройте окно описания свойств соединения (кнопка «Принять», если были внесены изменения, либо «Отменить»)


2.2.4. Компоновка верха колонны

Шаг 3.29. В дереве *Структура данных* выберите узел **Исходные данные** | **Компоновка верха колонны**.

Шаг 3.30. Нажмите кнопку **Открыть**  головного меню и загрузите описание компоновки низа колонны из файла *<Рабочий каталог>\drillstrings\Пример верхней компоновки БК.drs*. Загруженная информация отобразится в таблице и на схеме справа.

На правой панели отобразится интерфейс редактора компоновки колонны, подробно описанный в Разделе 1.2.4.



Шаг 3.31. Нажмите кнопку **Проверить**  головного меню для проверки корректности описания.

Шаг 3.32. Описание *Исходных данных* завершено. Сохраните проект.



2.3. Статический анализ КНБК

В данном разделе излагается постановка задачи Статического анализа КНБК и приводится пошаговое описание процедуры расчета для трех компоновок нижней части колонны в одной тестовой скважине.

2.3.1. Методика Статического анализа КНБК

Приложение предоставляет набор инструментов для изучения равновесного состояния КНБК в произвольной пространственной скважине. Для расчета положения равновесия используется численное моделирование динамики компоновки во временной области:

- Модель компоновки помещается вдоль оси скважины для заданной глубины положения долота.
- Прикладываются граничные условия, заданные для верхней точки компоновки и долота.

По умолчанию используется следующая расчетная схема: запрет на продольное перемещение точки долота, осевая сила – обозначенная как «Нагрузка на долото» – прикладывается в верхней точке компоновки.

Примечание: Расчетная схема статического сценария (схема нагружения и фиксации модели в скважине) может быть изменена в режиме **Продвинутого пользователя** или **Разработчика**.

- Запускается моделирование движения колонны под действием приложенных сил с учетом наложенных ограничений, контактного взаимодействия со стенками скважины, силы тяжести, а также внешних и внутренних демпфирующих сил.
- Достижение положения равновесия определяется по затуханию кинетической энергии механической системы.
- Рассчитывается и сохраняется в бинарный файл деформированное состояние, распределения контактных сил, внутренних силовых факторов и напряжений по элементам компоновки.



Интерфейс **Статического анализа** позволяет проводить расчет множества сценариев в рамках единого проекта, с возможностью сравнения полученных результатов между собой. Сценарий в Статическом анализе (*статический сценарий*) описывается следующим набором параметров:

- Положение в скважине: траектория, конструкция скважины и положение долота.
- Исходные данные: КНБК и буровой раствор.
- Параметры: Нагрузка и момент на долоте, скорость вращения верхней части компоновки, скорость спуска/проходки.

Примечание: Если описание компоновки включает детали с управляемыми параметрами, значения этих параметров добавляются в список параметров сценария.

Например, при наличии в составе компоновки стандартного напорного двигателя в список добавятся *скорость вращения ротора* и *направление* и *угол отклонения* нижней части детали.

- В режимах **Продвинутый пользователь** и **Разработчик** доступен набор дополнительных параметров модели (см. Раздел 3.6.2).

2.3.2. Описание сценариев

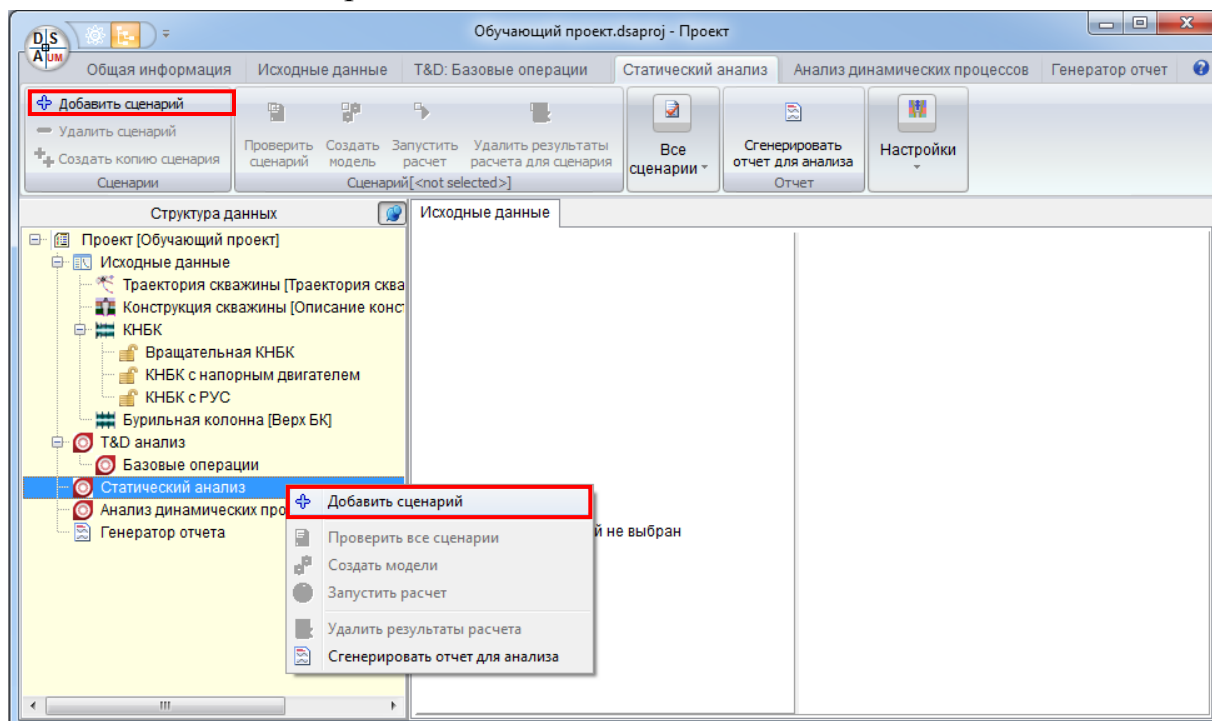
Для демонстрации процедуры статического анализа создадим, рассчитаем и рассмотрим полученные результаты для трех компоновок нижней части буровой колонны:

- Вращательная КНБК
- КНБК с напорным двигателем
- КНБК с РУС

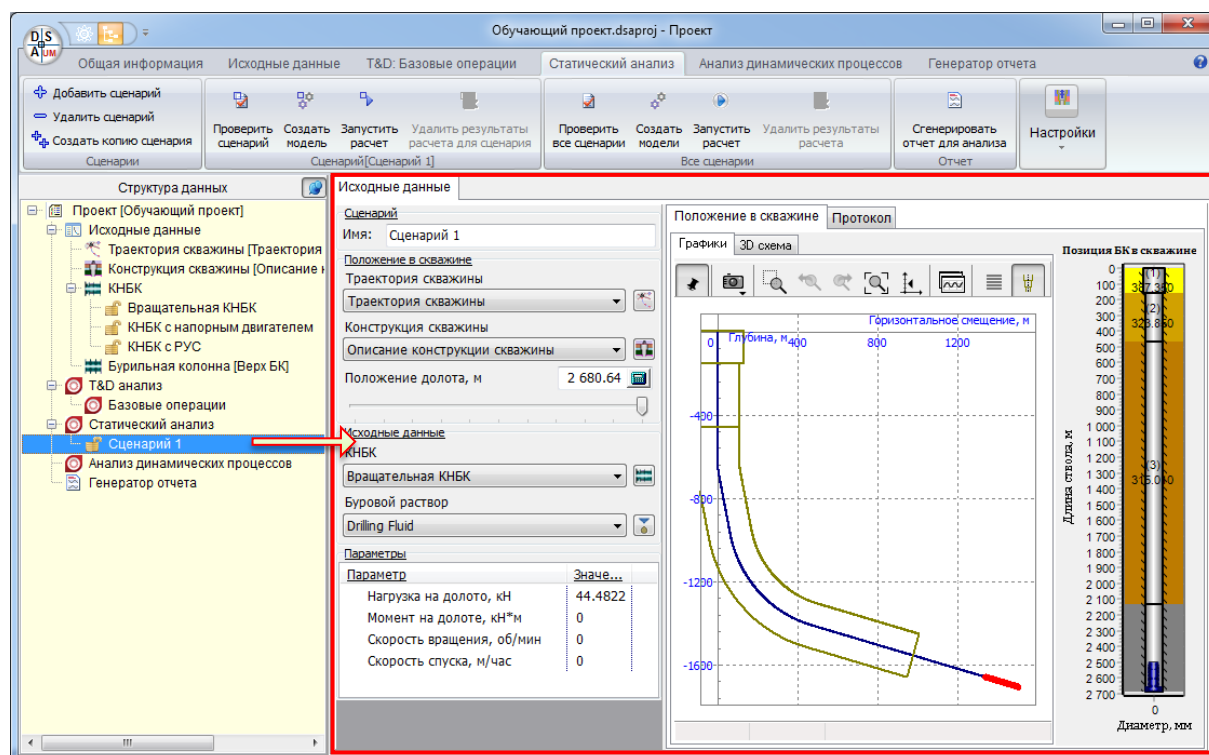
Обратим внимание на организацию работы с управляемыми параметрами, введенными в описание элементов компоновок.

2.3.2.1. Описание сценария *Вращательная КНБК*

Шаг 4.1. Выберите узел **Статический анализ** в дереве навигации проекта и воспользуйтесь контекстным или главным меню для добавления нового сценария.




Сценарий 1 добавится в список сценариев Статического анализа проекта; соответствующий узел отобразится и будет выделен в дереве навигации; параметры сценария отобразятся на закладке **Исходные данные** справа.




Опишем базовые параметры нового сценария на средней панели.

Шаг 4.2. Задайте новое имя сценария – **Вращательная КНБК**. Новое имя автоматически отобразится в дереве навигации.

Шаг 4.3. Выберите **Траектория скважины** из списка траекторий, описанных в проекте.


Примечание: Для быстрого перехода к описанию траектории можно воспользоваться кнопкой  справа от списка.

Шаг 4.4. Выберите **Описание конструкции скважины** из списка конструкций, описанных в проекте.

Примечание: Для быстрого перехода к описанию конструкции можно воспользоваться кнопкой  справа от списка.

Шаг 4.5. Задайте **Положение долота** равным **2000** метров.

Шаг 4.6. Выберите **Вращательная КНБК** из списка компоновок нижней части колонны.

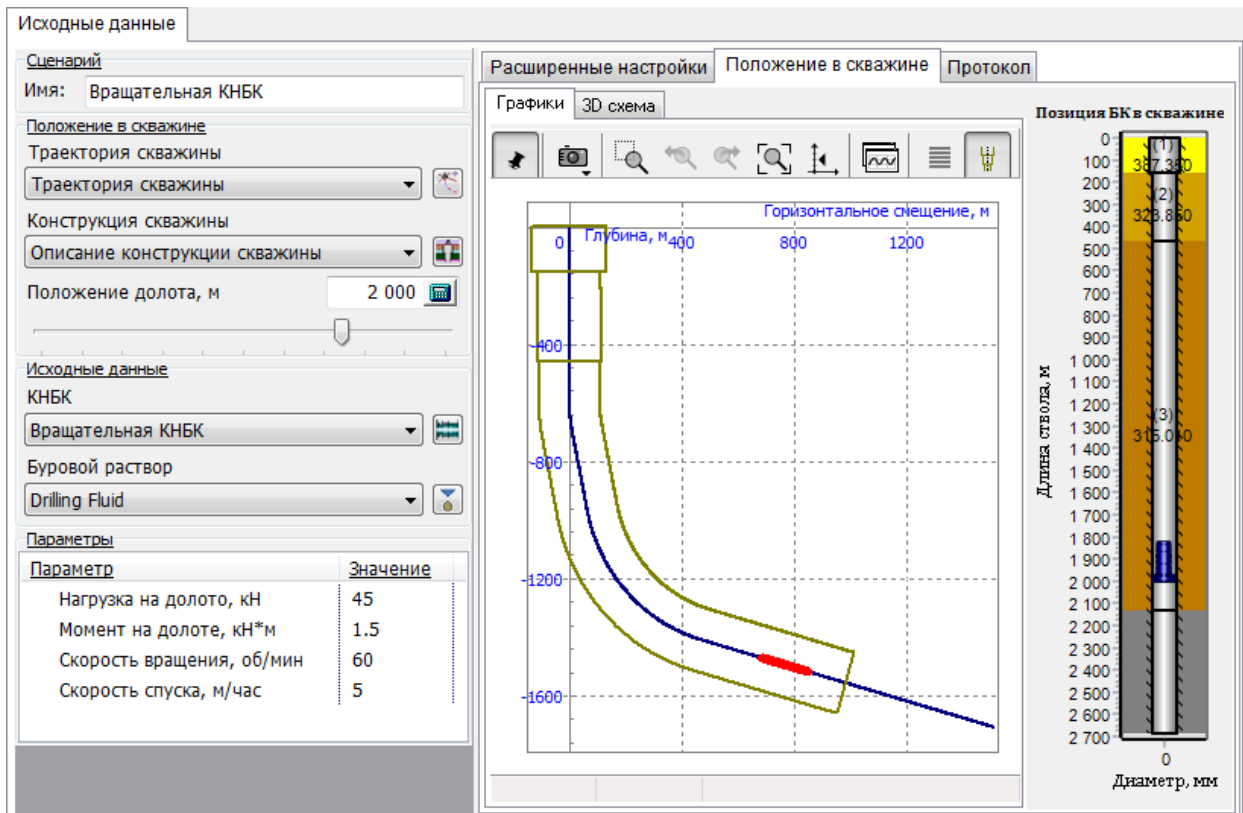
Примечание: Для быстрого перехода к описанию компоновки можно воспользоваться кнопкой  справа от списка компоновок.

Шаг 4.7. Выберите **Буровой раствор 1** из списка растворов; список содержит все элементы БД жидкостей (см. Раздел 1.2.1.3).

Примечание: При необходимости новый буровой раствор добавляется в БД жидкостей и затем выбирается при описании сценария.

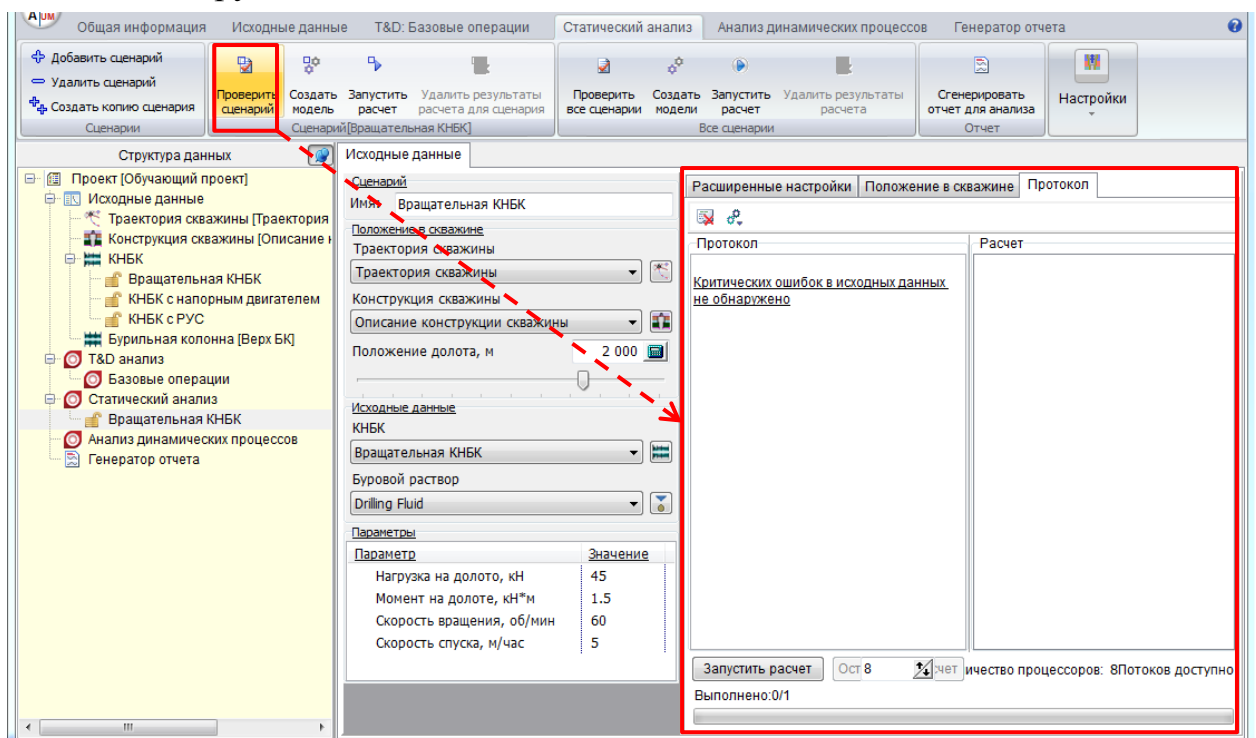
Шаг 4.8. Зададим числовые параметры операции:

Параметр	Значение
Нагрузка на долото	45кН
Момент на долоте	1.5 кН*м
Скорость вращения	60 об/мин
Скорость спуска	5 м/ч



Шаг 4.9. Нажмите кнопку **Проверить сценарий** главного меню для проверки корректности описания сценария.

На правой панели отобразится закладка **Протокол**; в протоколе появится запись «Критических ошибок в исходных данных не обнаружено».



Сценарий *Вращательная КНБК* описан, проверен и готов к расчету.

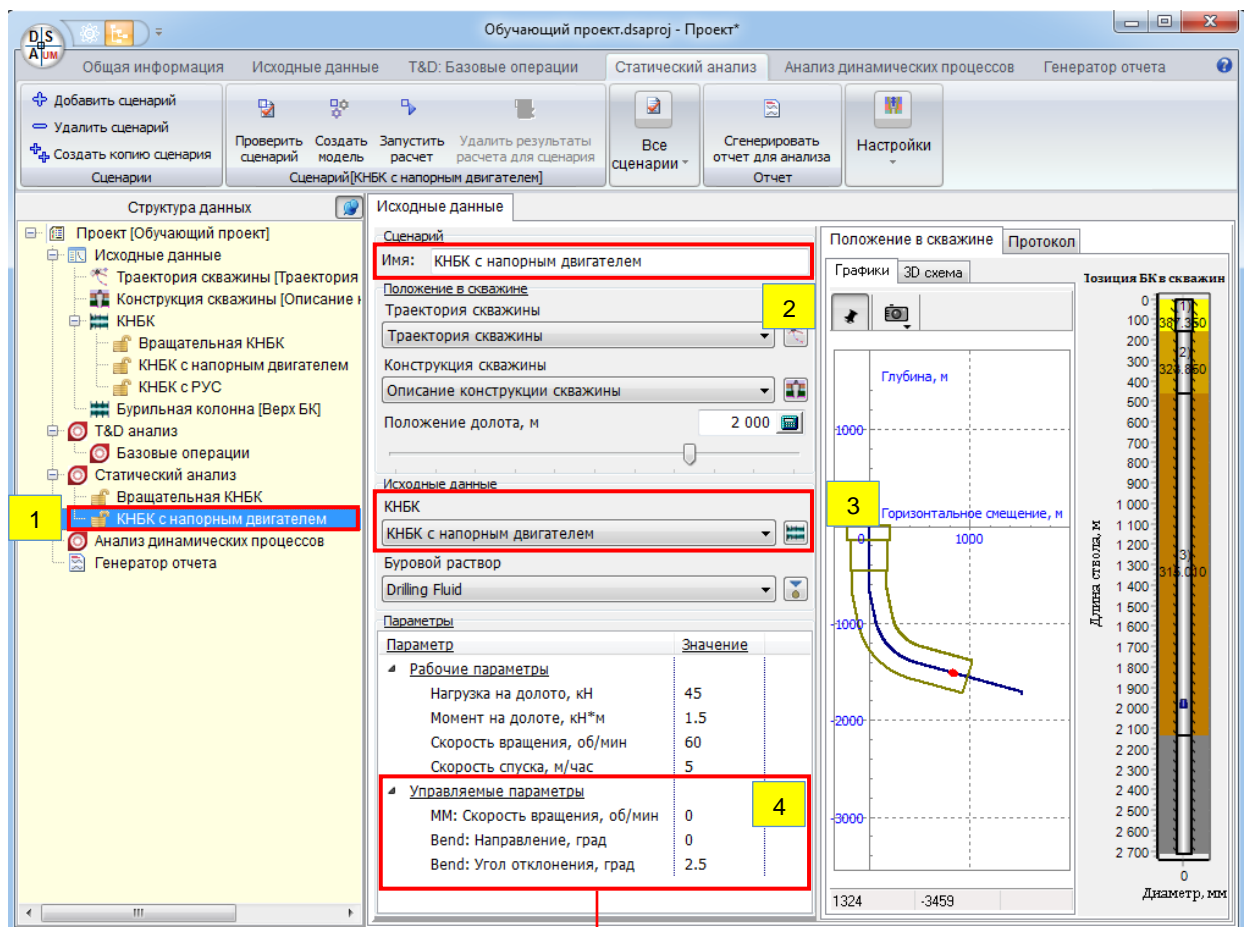
2.3.2.2. Описание сценария *КНБК с напорным двигателем*

Шаг 4.10. Выберите сценарий **Вращательная КНБК** в дереве навигации проекта и создайте его копию (Создать копию сценария).

Шаг 4.11. Переименуйте добавленный сценарий в *КНБК с напорным двигателем*.

Шаг 4.12. Выберите **Описание конструкции скважины** из списка конструкций, описанных в проекте.

Шаг 4.13. Выберите **КНБК с напорным двигателем** из списка компоновок нижней части колонны.



Управляемые параметры		
MM: Скорость вращения, об/мин		0
Bend: Направление, град		0
Bend: Угол отклонения, град		2.5

Обратите внимание, что список параметров сценария изменился – в списке появилась группа *Управляемые параметры*, включающая соответствующие параметры деталей компоновки. Пользователь может варьировать эти параметры без модификации описания компоновки.

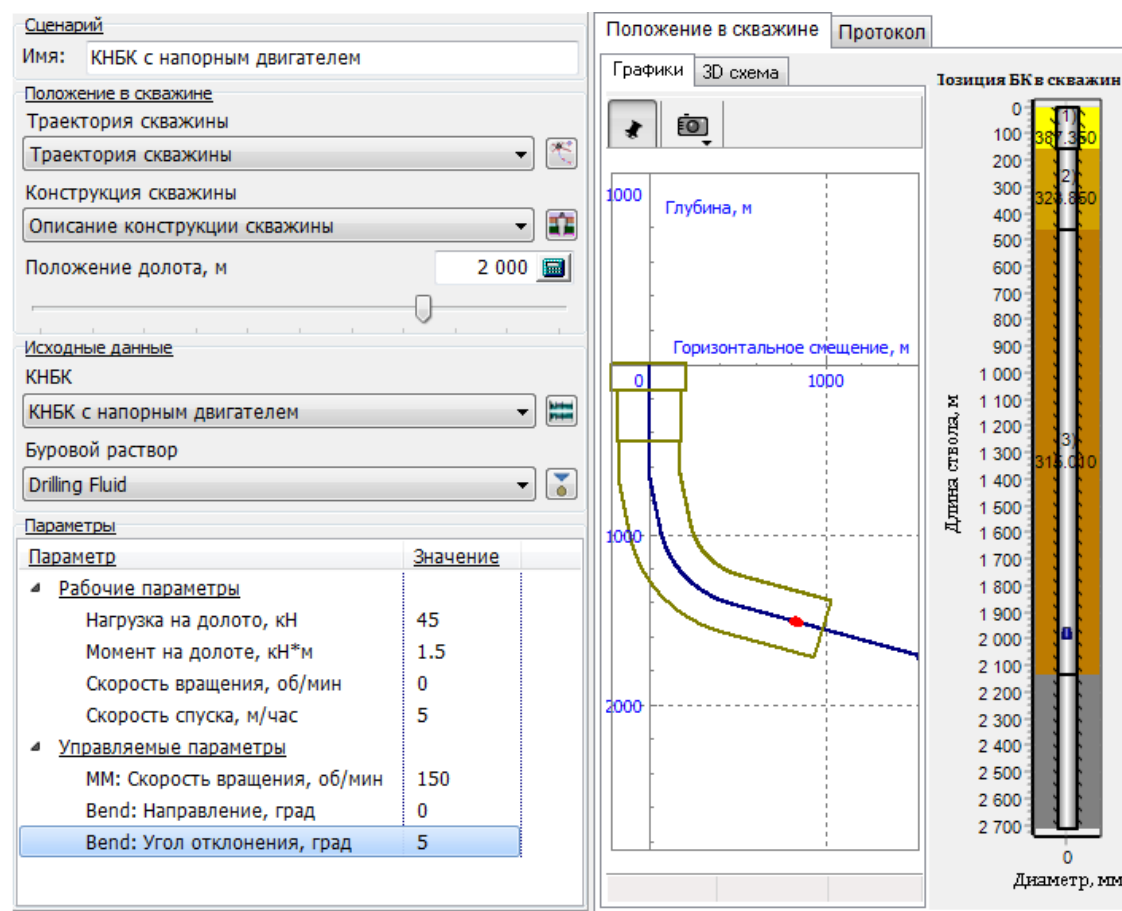
Опишем вариант работы КНБК, при котором верхняя часть колонны не вращается, но работает напорный двигатель, обеспечивая вращение нижней части отклоненной на 5 градусов вверх.

Внимание. Ориентация отклоняемой части будет выдерживаться автоматически, так как при описании модели напорного двигателя мы выбрали опцию **Сохранять ориентацию** (см. Раздел 2.2.3.2.1).

Шаг 4.14. Задаем числовые параметры операции:

Параметр	Значение
Нагрузка на долото	45кН
Момент на долоте	1.5 кН*м
Скорость вращения	0 об/мин
Скорость спуска	5 м/ч
ММ: скорость вращения	150 об/мин
Vend: Направление	0 град
Vend: Угол отклонения	5 град

Шаг 4.15. Нажмите кнопку **Проверить сценарий** главного меню для проверки корректности описания сценария.

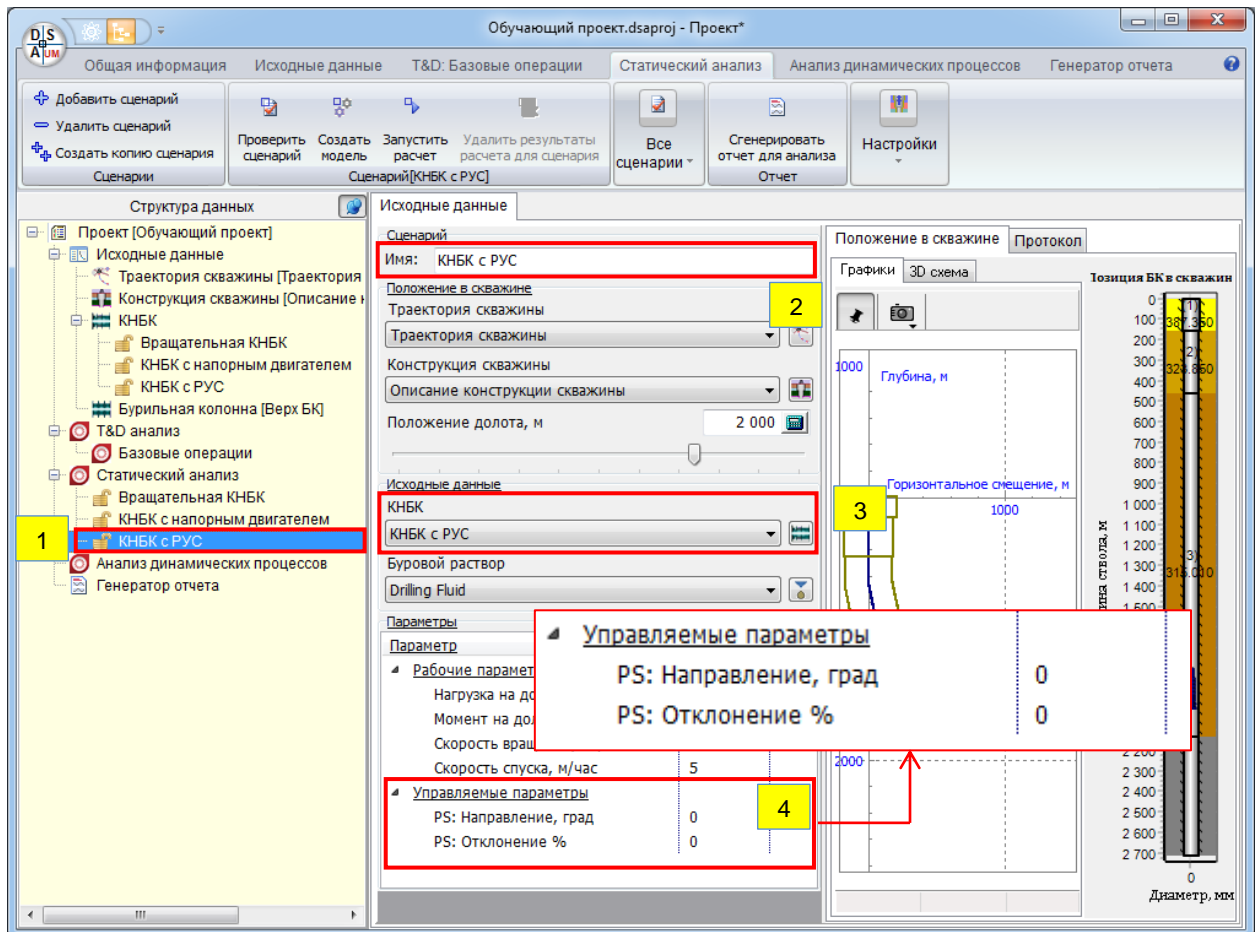


2.3.2.3. Описание сценария *КНБК с РУС*

Шаг 4.16. Создайте копию сценария **Вращательная КНБК** и переименуйте добавленный сценарий в *КНБК с РУС*.

Шаг 4.17. Выберите **Описание конструкции скважины** из списка конструкций, описанных в проекте.

Шаг 4.18. Выберите **КНБК с РУС** из списка компоновок нижней части колонны.

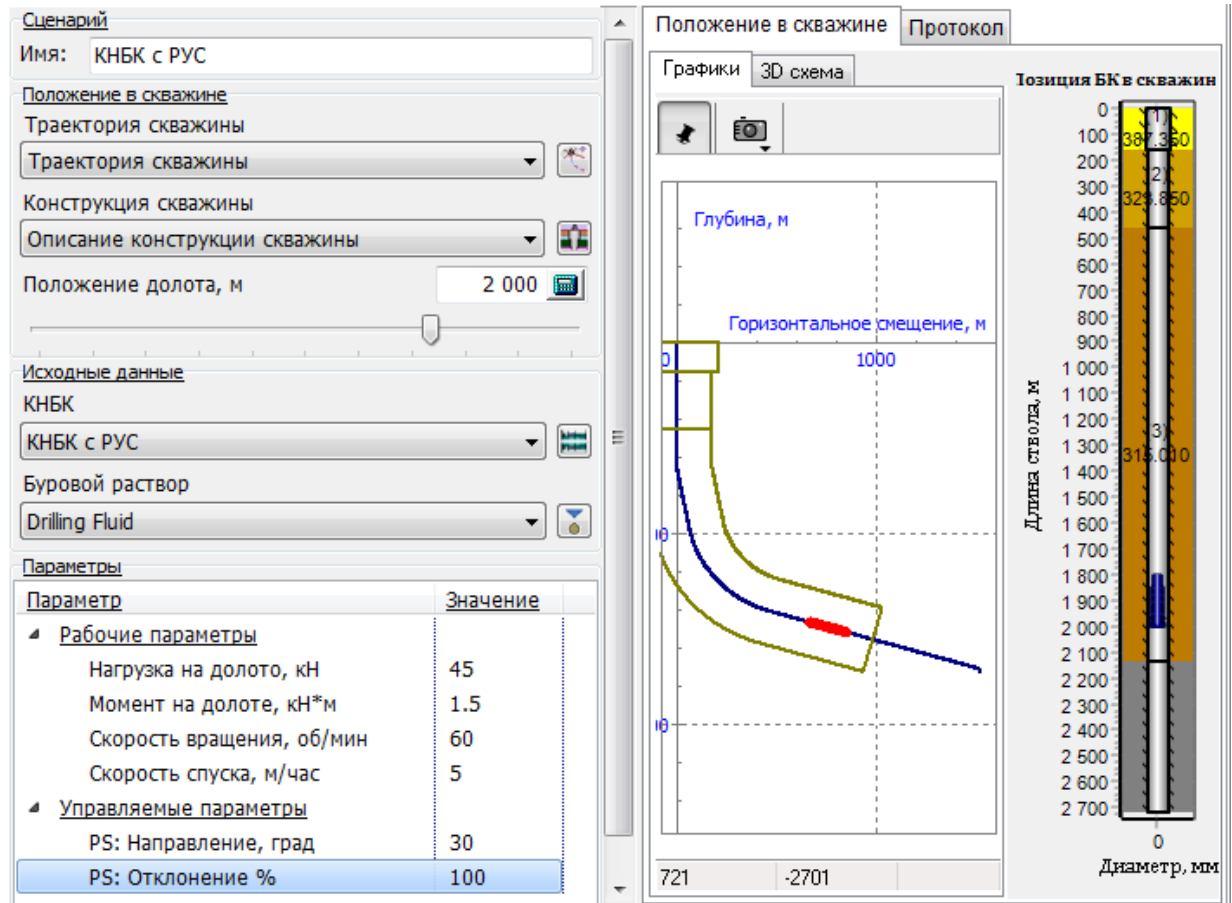


Обратите внимание, что список параметров сценария изменился – в списке появились управляемые параметры, описанные ранее для модели РУС.

Шаг 4.19. Задаем следующие значения *управляемых* параметров (остальные оставляем без изменения):

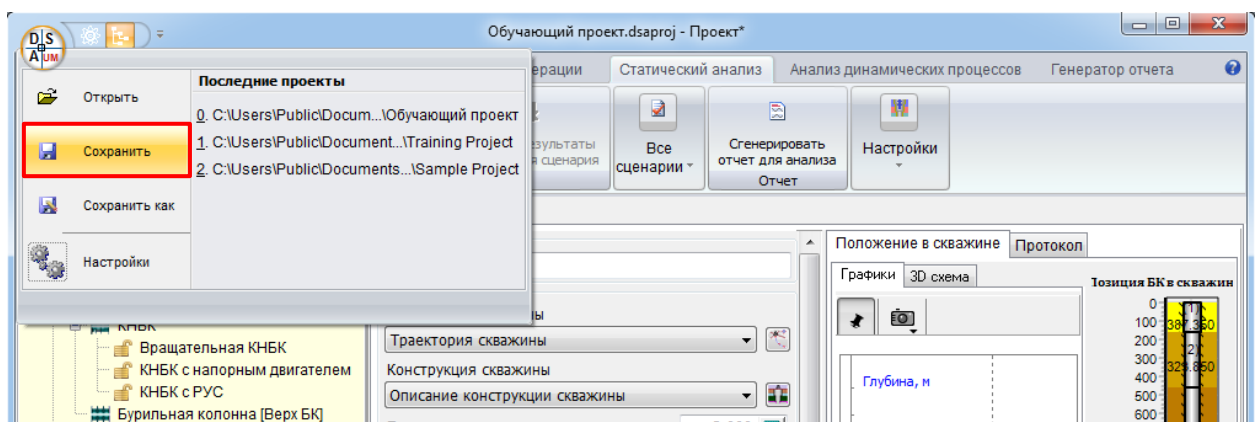
Параметр	Значение
PS: Направление	30 град
PS: Отклонение	100%

Таким образом, мы будем рассматривать вариант работы КНБК, при котором гидравлическая система позиционирования смещает точку вала под углом 30 град к «вертикали» - оси Y локальной системы координат скважины (см. Раздел 3.1.1).



Шаг 4.20. Нажмите кнопку **Проверить сценарий** главного меню для проверки корректности описания сценария.

Шаг 4.21. Сохраните проект.

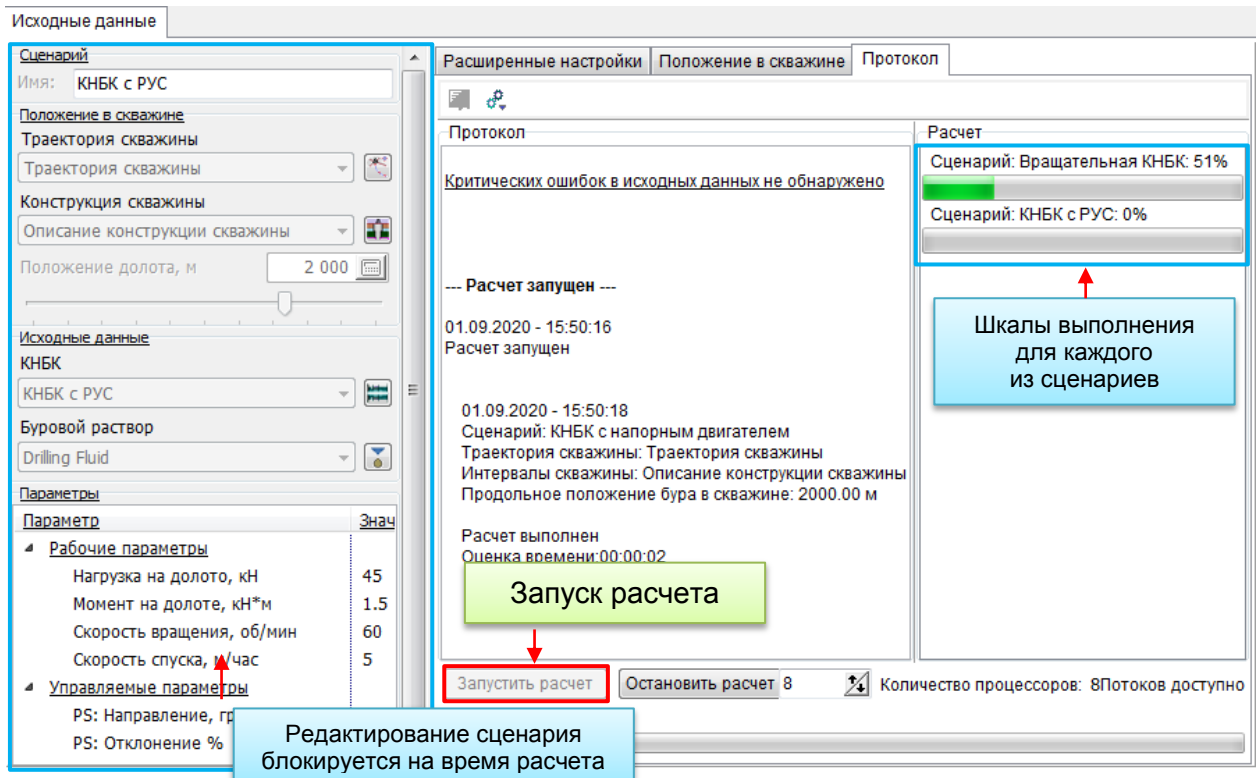


Описание сценариев закончено, переходим к расчету и анализу результатов.

2.3.3. Запуск расчета

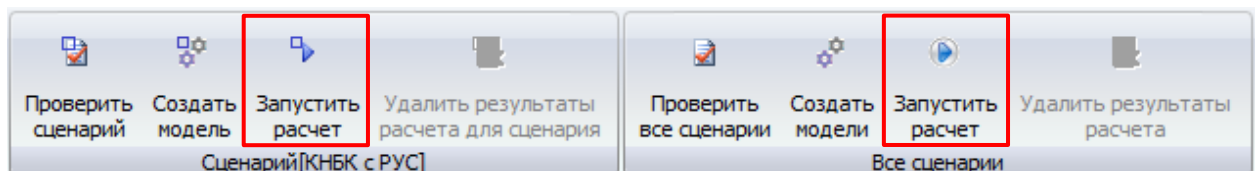
Шаг 4.22. Выберите закладку **Протокол** и нажмите кнопку **Запустить расчет** для выполнения описанных сценариев.

Для каждого из рассчитываемых сценариев в поле **Расчет** добавляются шкалы прогресса выполнения; в протокол добавляется запись о начале выполнения расчета “--- Расчет запущен ---”; изменение параметров сценария автоматически блокируется.

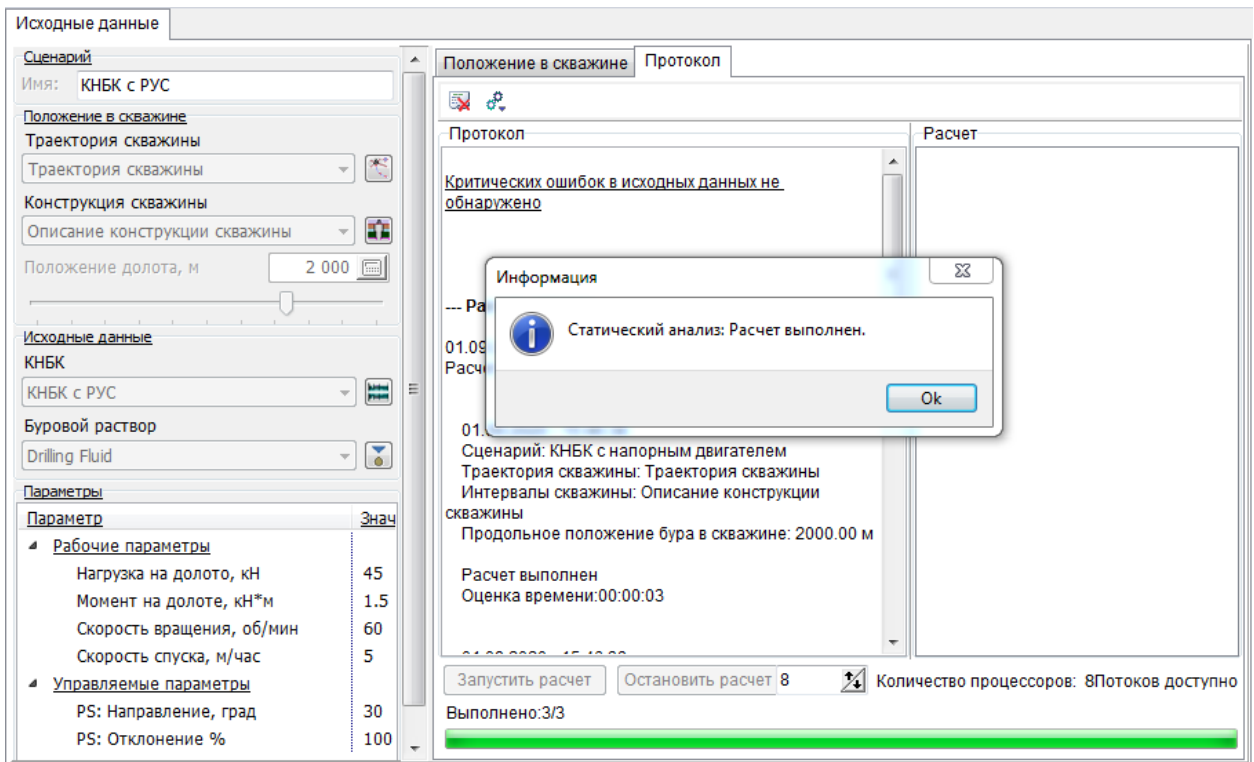


Примечание: Перед запуском расчета автоматически выполняется проверка корректности описания исходных данных и сохранение файла проекта.

Примечание: Пользователь может запустить расчет отдельного сценария (команда **Запустить расчет**), либо всех сценариев разом (**Запустить расчет**).



Для каждого из запущенных сценариев на правой панели добавляется шкала выполнения с комментарием; шкала закрывается после окончания выполнения расчета сценария; подробности выполнения расчета добавляются в окно **Протокол**.

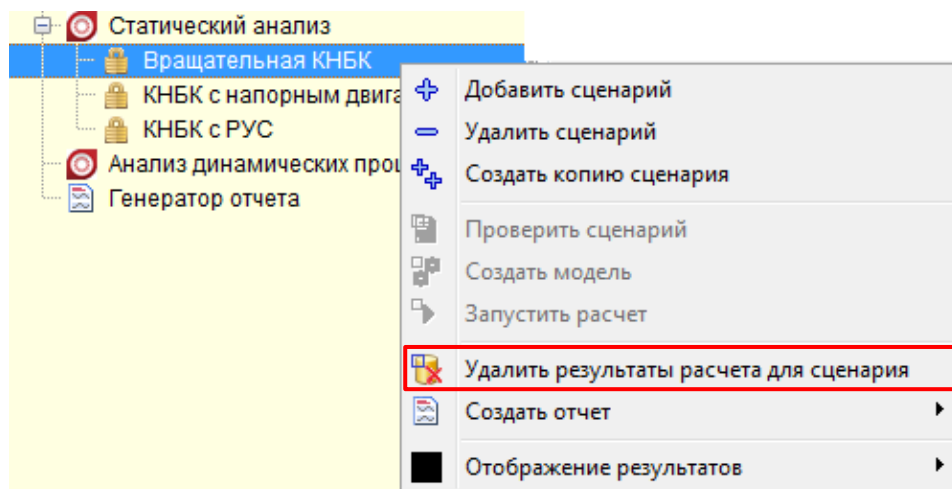


По завершению расчета появится сообщение «**Статический анализ: Расчет выполнен**». Расчет описанных сценариев займет примерно 5 секунд.

Шаг 4.23. Нажмите **Ok**, чтобы закрыть сообщение.

Результаты анализа были рассчитаны и сохранены в каталоге сценариев на жестком диске; перед рассчитанными сценариями в дереве навигации иконка меняется на .

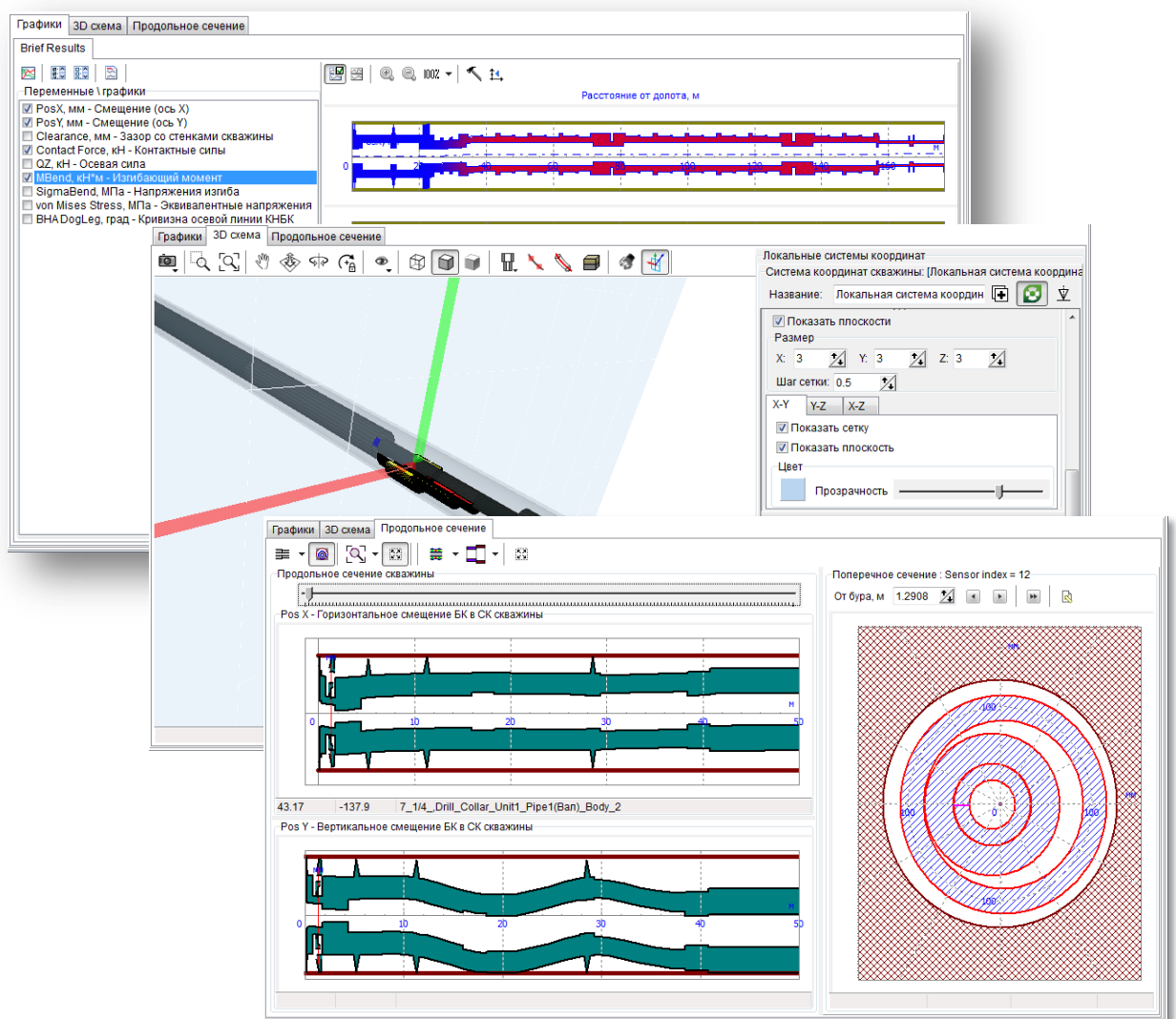
Внимание. Для изменения параметров сценария необходимо очистить результаты расчета через опцию контекстного или главного меню.



2.3.4. Вывод результатов

В рамках приложения реализованы различные средства отображения результатов расчета – деформированного состояния компоновки в скважине, распределений контактных сил, внутренних силовых факторов и напряжений вдоль оси колонны:

- Графики: набор графиков распределения рассчитанных величин вдоль оси компоновки.
- 3D схема: 3D изображение деформированной компоновки в скважине.
- 2D схема: Деформированное положение колонны в спрямленном продольном сечении и поперечное сечение скважины.



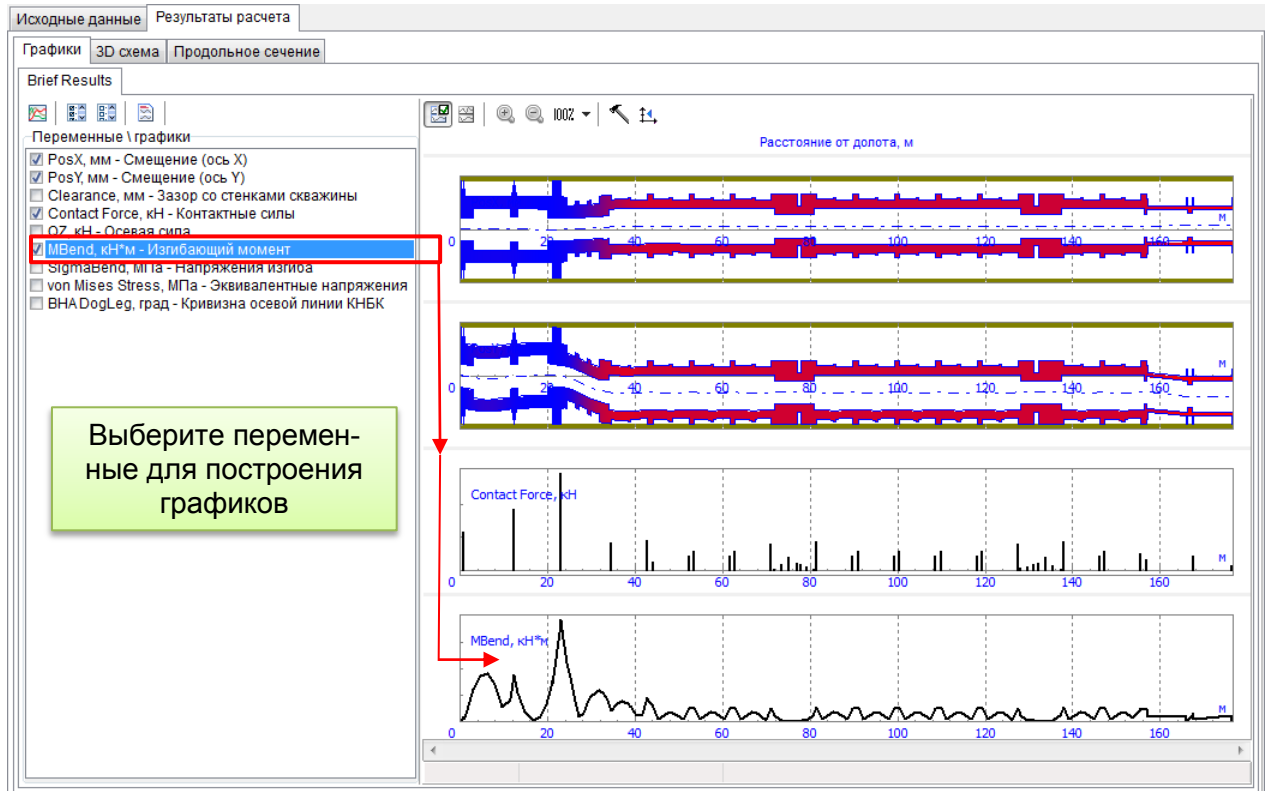
Шаг 4.24. Выберите в дереве навигации первый из рассчитанных сценариев (**Вращательная КНБК**).

На правой панели наряду с **Исходными данными** для рассчитанного сценария появится вкладка **Результаты**. Перейдите на нее.

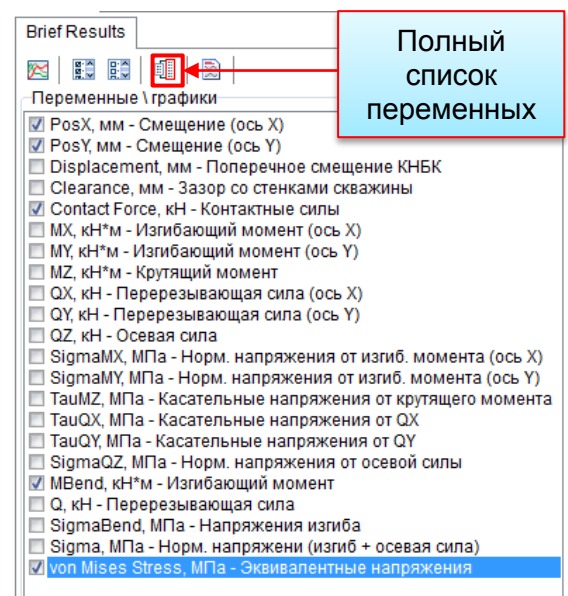
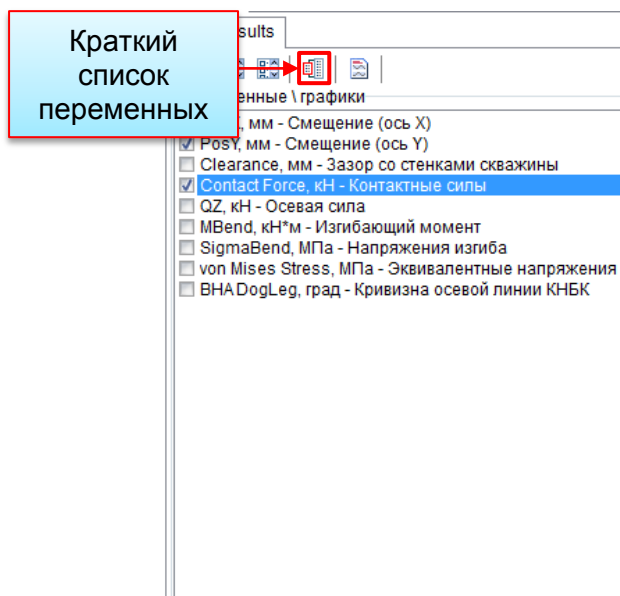
2.3.4.1. Графики

Шаг 4.25. Перейдите на закладку **Результаты | Графики** для отображения распределения расчетных параметров вдоль оси КНБК.

На правой панели отображаются графики величин, отмеченных в списке **Переменные/ Графики**.

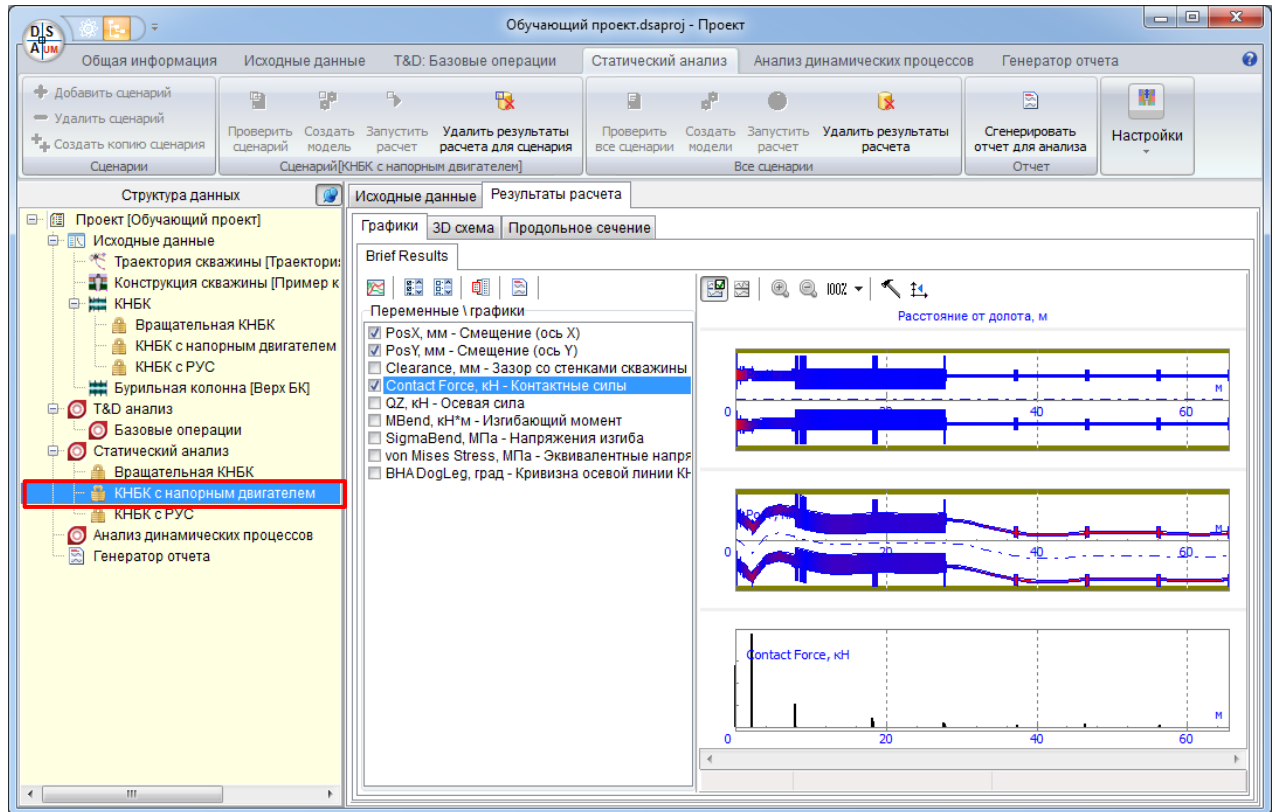


Шаг 4.26. Нажмите кнопку для переключения между кратким и полным списками результатов.

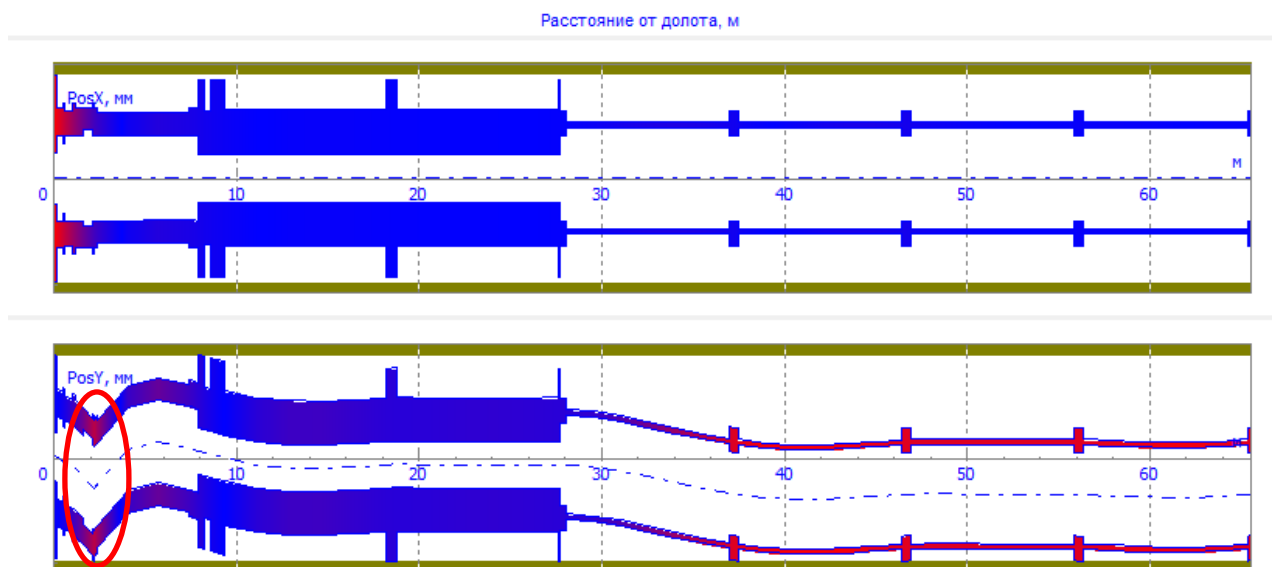


Шаг 4.27. Выберите в дереве навигации сценарий КНБК с напорным двигателем.

На закладке **Результаты | Графики** отображаются рассчитанные показатели для выбранной компоновки.

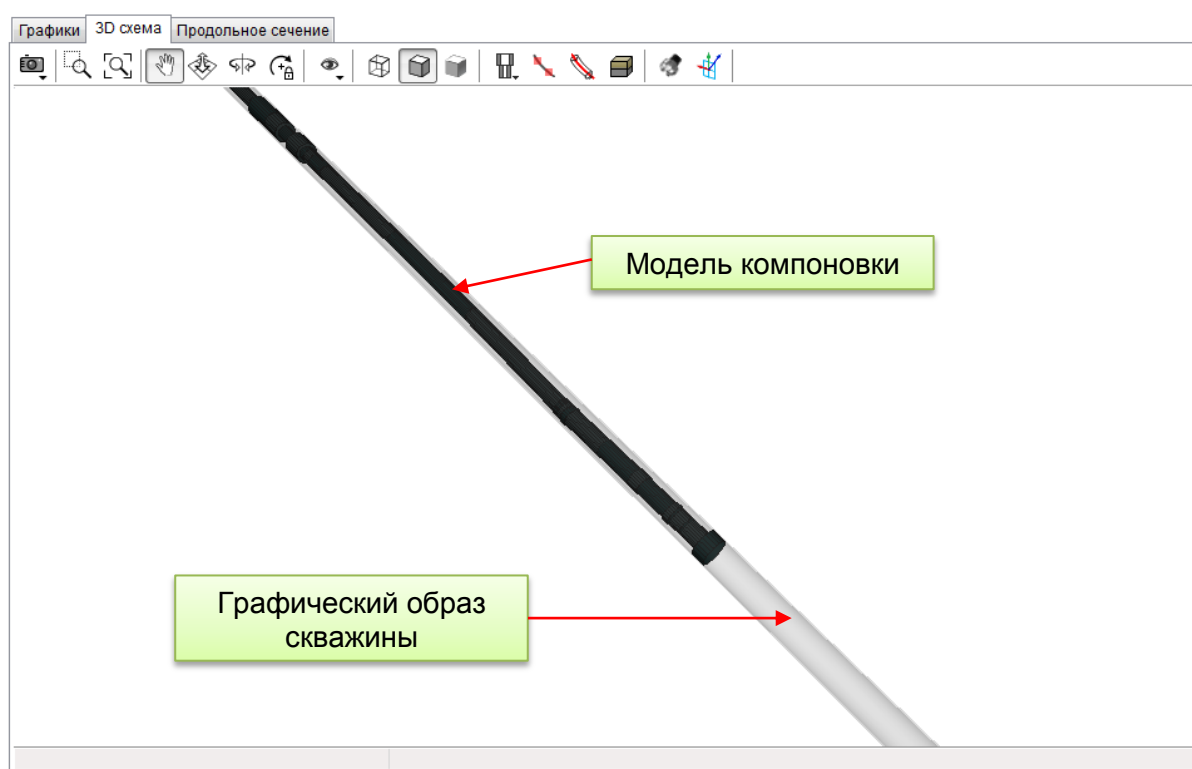


На графиках PosX, PosY – условных изображениях положения компоновки в спрямленной скважине – хорошо заметен заданный изгиб компоновки, обеспечивающий прижатие долота к верхней части сечения скважины.




2.3.4.2. 3D схема

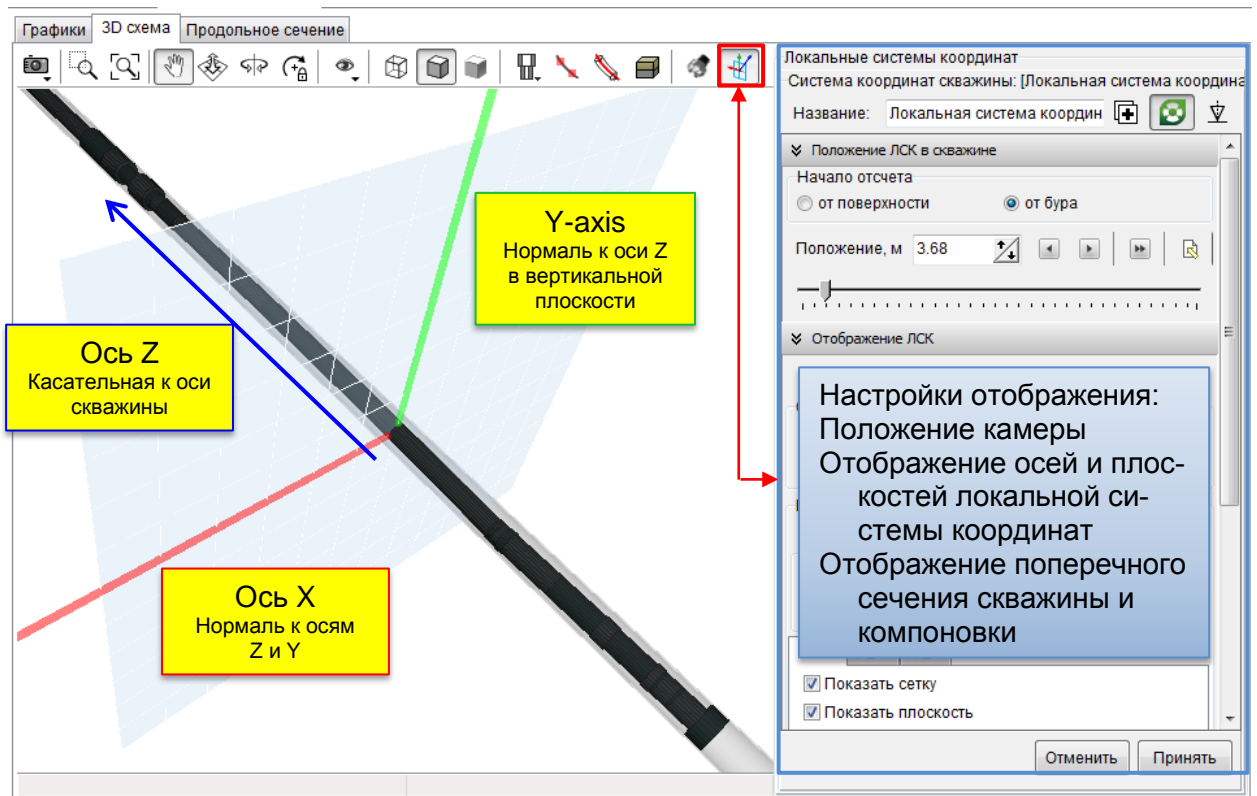
Шаг 4.28. Перейдите на закладку **Результаты | 3D схема** для отображения положения компоновки колонны в скважине.



Для 3D схемы доступны следующие опции отображения:

- копировать схему скважины в буфер обмена;
- увеличить прямоугольную область схемы (мышью);
- показать всю компоновку;
- переместить камеру;
- изменить масштаб;
- повернуть;
- зафиксировать точку поворота;
- выбрать один из стандартных видов;
- отобразить только ребра графической модели;
- отобразить ребра и грани модели;
- отобразить только грани графической модели;
- выбрать режим отображения скважины;
- показать базовые точки траектории;
- показать осевую линию скважины;
- показать геологические данные (породы);
- установить обзор камеры на долото;
- отобразить настройки локальных систем координат скважины.

Шаг 4.29. Нажмите кнопку  для отображения настроек отображения локальных систем координат скважины.



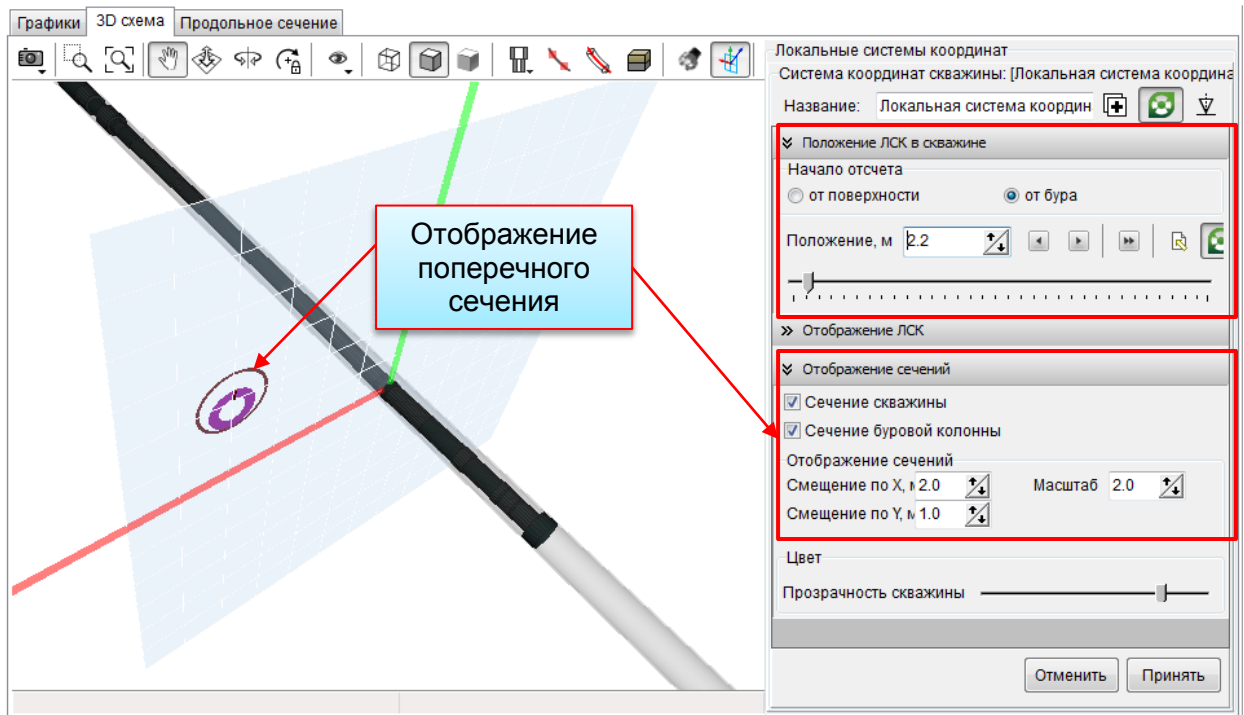
Интерфейс **Локальные системы координат** позволяет добавить на схему множество информации для одной или нескольких точек на оси скважины (локальных систем координат – или ЛСК).

Положение ЛСК задается настройками **Положение ЛСК в скважине**; возможно задание **Начала отсчета** как **от поверхности**, так и **от долота**. Пользователь может показать/скрыть оси, плоскости и сетки ЛСК, выбрать их размеры и цвета, а также отобразить поперечное сечение скважины с компоновкой для выбранного положения.

Выберите **Начало отсчета – от долота**, Задайте **Положение** равным **2.2** метра (примерно соответствует точке изгиба компоновки).

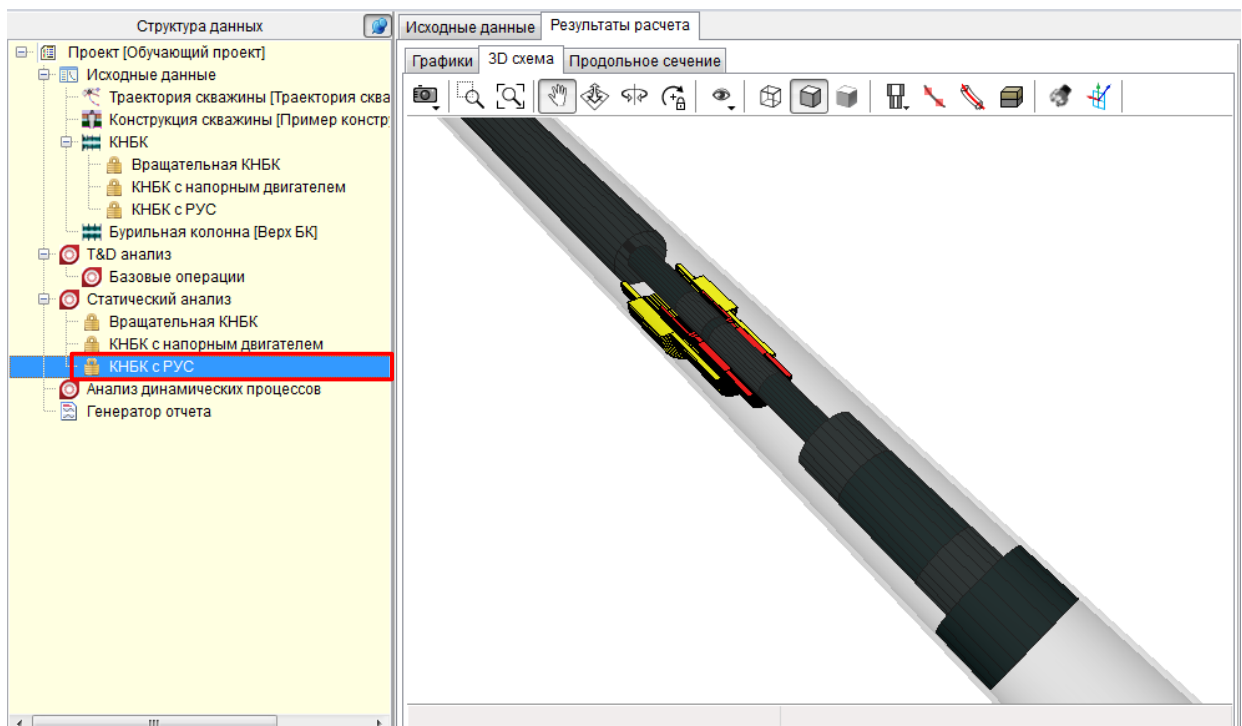
Шаг 4.30. Выберите группу параметров **Отображение сечений**, активируйте **Сечение скважины** и **Сечение бурильной колонны**; задайте **Смещение сечения по X** равным **2.0** метра и по **Y** – **1.0** метр.

При желании поварьируйте положение ЛСК – сечение покажет относительное положение компоновки в скважине.



Шаг 4.31. Выберите в дереве навигации сценарий **КНБК с РУС**.

На закладке **3D схема** отобразится положение компоновки в скважине:

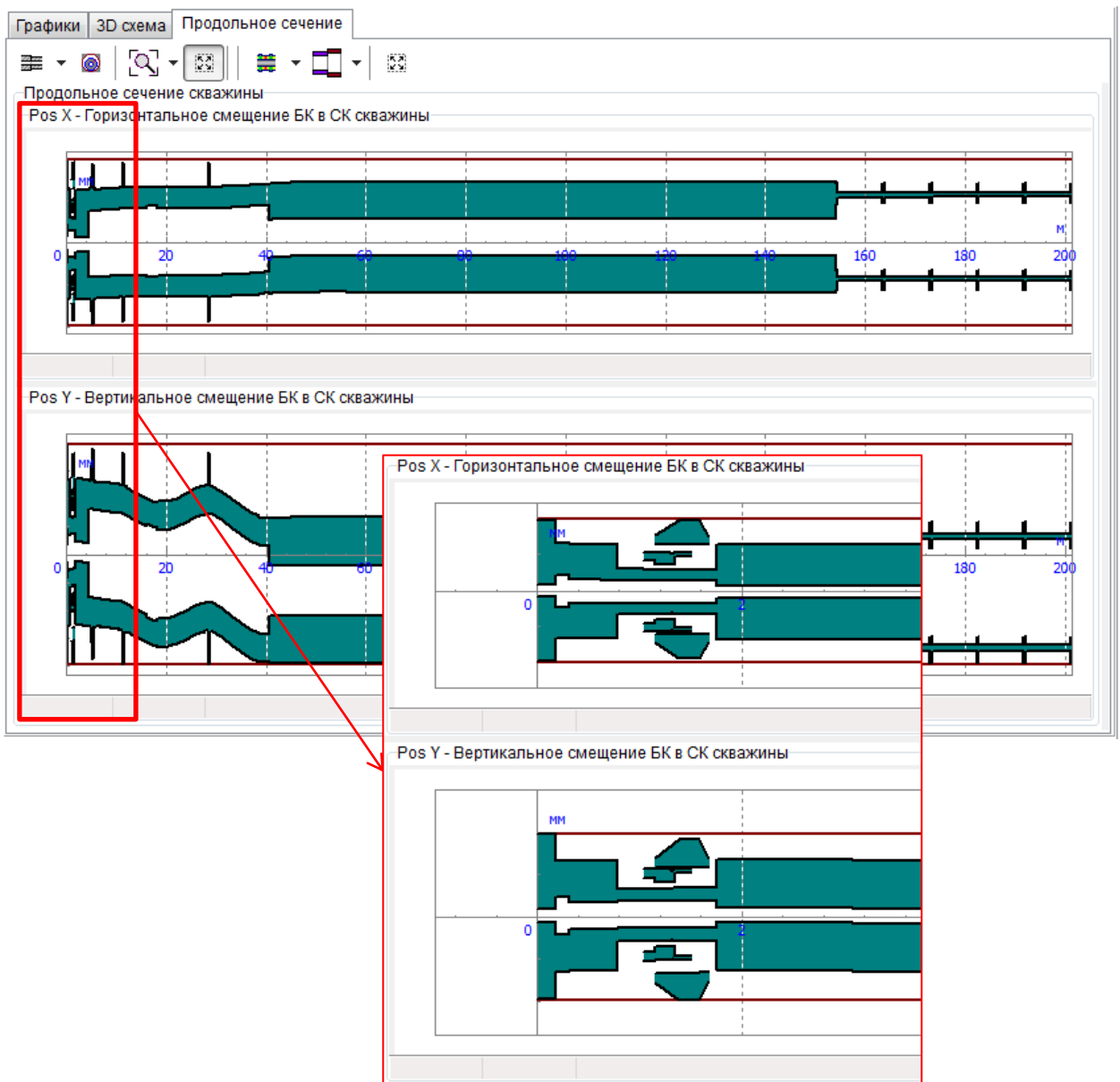



2.3.4.1. Продольное сечение

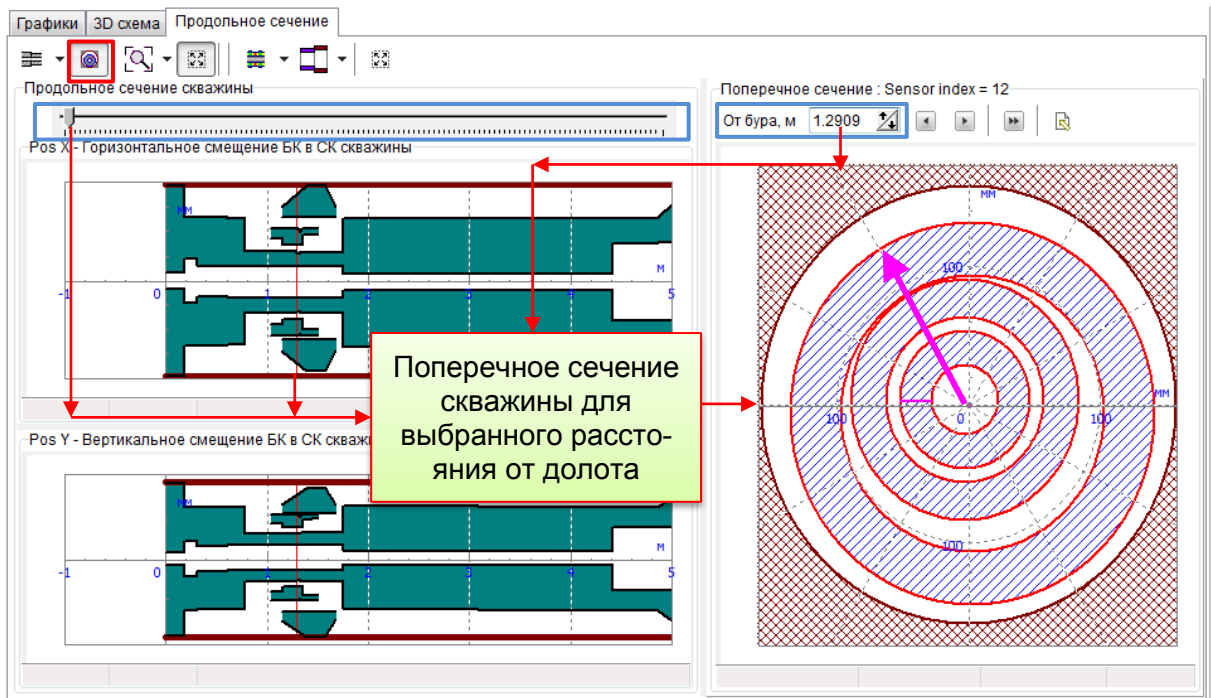
Шаг 4.32. Перейдите на закладку **Результаты | Продольное сечение** для отображения продольного/поперечного сечения компоновки в скважине.

Ось абсцисс графиков соответствует расстоянию по осевой линии скважины, нулевая точка – положению долота.

График **Pos X** отображает смещения элементов компоновки в плоскости Z-X локальной системы координат (ЛСК рассчитывается для каждой точки графика) – и может рассматриваться как горизонтальное поперечное смещение компоновки; **Pos Y** – соответствует поперечному смещению компоновки в плоскости Z-Y ЛСК (вертикальной плоскости).



Шаг 4.33. Нажмите кнопку  для отображения поперечного сечения скважины справа от графиков **Pos X**, **Pos Y**. Используйте «ползунок», либо клавиши навигации над схемой справа для выбора поперечного сечения.



Примечание. Связь, реализующая гидравлическую управляемую систему (см. Раздел 2.2.3.3.1), соответствует точке, расположенной в **1.2909** метра от долота. Для данной точки хорошо заметно смещение промежуточного элемента, с валом внутри, относительно внешнего элемента в направлении Toolface = 30 град.



2.4. Torque & Drag анализ колонны

В этом разделе руководства приводится краткий обзор процедуры Torque & Drag анализа и пошаговый пример расчета для двух бурильных колонн со сравнением полученных результатов.

2.4.1. Методика Torque & Drag анализа

Приложение UM Drillstring Analysis включает набор инструментов для оценки осевых сил и момента сопротивления движению колонны в скважине для стандартного набора технологических операций с использованием мягкой (Soft-string) и жесткой (Stiff-String) модели колонны.

- «Мягкая» модель (**Soft-String T&D**): в рамках подхода принимается, что бурильная колонна располагается вдоль оси скважины (поперечные смещения элементов колонны в стволе не рассматриваются).
 - Для оценки состояния колонны применяется численное интегрирование уравнений положения упругой балки вдоль оси изогнутой скважины; по сути, процедуру можно представить последовательным решением уравнений равновесия для коротких секций от долота к поверхности.
 - Граничные условия – осевая сила и крутящий момент – задаются на долоте в соответствии с выбранной технологической операцией.
 - Контактные силы оцениваются на основании локальной кривизны скважины и жесткости элементов колонны; силы трения и момент сопротивления вращению рассчитываются по величине контактной силы, коэффициенту трения заданному для интервала скважины, и соотношению осевой скорости и скорости вращения колонны.
 - Осевая сила в верхней точке каждой малой секции оценивается из условий равновесия сил, действующих на секцию.
 - Увеличение сил сопротивления, возникающих при синусоидальной и спиральной форме потери устойчивости сжатой колонны в скважине, учитывается в рамках общепринятой методики.
 - В ходе расчета оцениваются силы и момент сопротивления, контактные силы, внутренние силовые факторы и напряженно-деформированное состояние элементов колонны, а также общее удлинение и закручивание колонны.



- Опционально учитываются эффекты температурного удлинения колонны (карта температур).
 - Опционально учитывается влияние внутреннего/внешнего давления на напряженно-деформированное состояние труб (карта давлений).
- «Жесткая» модель (**Stiff-String T&D**): рассматривается подробная модель колонны в скважине – аналогичная модели КНБК для Статического анализа – оценка сил и моментов производится с учетом поперечного смещения элементов компоновки в стволе.

Результаты, полученные с использованием «жесткой» модели практически совпадают с результатами «мягкой» модели для большинства случаев, но позволяют уточнить решение для зон с большой кривизной оси скважины, обсадных колонны и т.д.

Интерфейс приложения позволяет описать и рассчитать произвольное количество расчетных ситуаций – сценариев – в рамках единого проекта. Для описания Torque & Drag сценария необходимо задать следующие параметры:

- Положение в скважине: Траектория скважины, Конструкция скважины и Положение долота.
- Исходные данные: КНБК, компоновка верха колонны и буровой раствор.

Внимание: Если выбранная глубина расположения долота в скважине превышает суммарную длину компоновок нижней и верхней частей колонны, верхняя деталь колонны дублируется до достижения поверхности автоматически.

Если глубина долота оказывается меньше суммарной длины итоговой компоновки, компоновка автоматически «обрезается» до уровня поверхности.

- Операционные параметры: тип операции и соответствующие числовые параметры (Сила на долоте, Момент на долоте, Скорость проходки/обратной проходки, Скорость вращения БК, т.д.).
- Дополнительные настройки: Карта температур и Карта давлений.
- Расширенные настройки: настройки математической модели доступные для *Продвинутых пользователей* или *Разработчиков* (см. Раздел 3.6.2).

2.4.2. Описание сценариев

Шаг 5.1. Выберите в дереве *Структура данных* узел **T&D Анализ | Базовые операции** для активации интерфейса анализа, и добавьте новый сценарий через контекстное меню, либо кнопку **Добавить сценарий** головного меню.

Сценарий *Роторное бурение 1* (имя сценария по умолчанию берется по типу операции, но может быть изменено пользователем) будет добавлен в список сценариев на ветке **T&D Анализ | Базовые операции** и выделен автоматически; описание сценария – закладка **Исходные данные** – отобразится на правой панели.

The screenshot displays the software interface with the following elements:


- Toolbar:** A red box highlights the 'Добавить сценарий' (Add Scenario) button. A yellow box with the number '1' highlights the 'Сценарий [Роторное бурение 1]' button.
- Data Structure Tree:** A tree view on the left shows the project hierarchy. A red arrow points to the 'Роторное бурение 1' node under 'Базовые операции'. A yellow box with the number '2' highlights this node.
- Initial Data Tab:** The 'Исходные данные' (Initial Data) tab is active, showing:
 - Сценарий:** Имя: Роторное бурение 1
 - Положение в скважине:**
 - Траектория скважины: [Dropdown]
 - Конструкция скважины: [Dropdown]
 - Пример конструкции скважины: [Dropdown]
 - Положение долота, м: 2 680.64
 - Исходные данные:**
 - КНБК: [Dropdown]
 - Вращательная КНБК: [Dropdown]
 - Бурильная колонна: [Dropdown]
 - Верх БК: [Dropdown]
 - Буровой раствор: [Dropdown]
 - Drilling Fluid: [Dropdown]
 - Операция:**
 - Роторное бурение
 - Бурение забойным двигателем
 - Вращение над забоем
 - Подъем колонны
 - Спуск колонны
 - Обратная проработка ствола
 - Проработка ствола
 - Технологические операции
 - Параметры:**

Параметр	Значение
Нагрузка на долото, кН	44.4822
Момент на долоте, кН*м	0
Скорость проходки, м/час	0
Скорость вращения, об/мин	0
- 3D Graph:** A graph showing 'Глубина, м' (Depth, m) on the y-axis (0 to -2000) and 'Горизонтальное смещение, м' (Horizontal displacement, m) on the x-axis (0 to 1200). A red line shows the wellbore trajectory. A yellow box highlights the '3D схема' (3D scheme) button.
- Wellbore Diagram:** A vertical diagram on the right shows the wellbore structure with depth markers (0, 387.380, 323.660, 375.010, 2100) and diameter (Диаметр, мм).

Опишем основные параметры сценария, воспользовавшись элементами на центральной панели.

Группа параметров «Положение в скважине»

Шаг 5.2. Выберите элемент *Траектория скважины* из списка траекторий, описанных в проекте.

Примечание: Для быстрого перехода к описанию выбранной траектории воспользуйтесь кнопкой  справа от списка.

Шаг 5.3. Выберите элемент *Описание конструкции скважины* из списка описания конструкций, имеющих в проекте.

Примечание: Для быстрого перехода к описанию выбранной конструкции воспользуйтесь кнопкой  справа от списка.

Шаг 5.4. Задайте глубину расположения долота (**Положение долота**) равной **2500 м**.


The screenshot displays the software interface with the following components:

- Исходные данные (Initial Data):**
 - Сценарий (Scenario):** Имя: Роторное бурение 1
 - Положение в скважине (Position in Well):**
 - Траектория скважины: Траектория скважины
 - Конструкция скважины: Описание конструкции скважины
 - Положение долота, м: 2 500
 - Исходные данные (Initial Data):**
 - КНБК: Вращательная КНБК
 - Бурильная колонна: Верх БК
 - Буровой раствор: Drilling Fluid
 - Операция (Operation):**
 - Роторное бурение
 - Бурение забойным двигателем
 - Вращение над забоем
 - Подъем колонны
 - Спуск колонны
 - Обратная проработка ствола
 - Проработка ствола
 - Технологические операции
 - Параметры (Parameters):**

Параметр	Значение
Нагрузка на долото, кН	0
Момент на долоте, кН*м	0
Скорость проходки, м/час	0
Скорость вращения, об/мин	0
- Расширенные настройки (Advanced Settings):**
 - Графики (Plots):** 3D схема
 - Положение в скважине (Position in Well):** 3D plot showing depth (Глубина, м) and horizontal displacement (Горизонтальное смещение, м). The trajectory is shown in red and green, starting at 0m depth and curving to approximately 1000m horizontal displacement at 2000m depth.
 - Протокол (Log):** Позция БК в скважине. Vertical diagram showing the wellbore position (Длина ствола, м) from 0 to 2700m and diameter (Диаметр, мм) from -500 to 500mm.

Группа параметров «Исходные данные»

Шаг 5.5. Выберите элемент *Вращательная КНБК* из списка компоновок нижней части колонны, описанных в проекте.

Внимание: Для быстрого перехода к описанию выбранной компоновки воспользуйтесь кнопкой  справа от выпадающего списка.

Шаг 5.6. Выберите элемент *Верх БК* из списка компоновок верха бурильной колонны, описанных в проекте.

Шаг 5.7. Выберите **Drilling fluid** из списка буровых растворов; список включает все растворы из БД жидкостей (см. Раздел 1.2.1.3).

Группы параметров «Операция» и «Параметры»

Шаг 5.8. Выберите *Роторное бурение* и назначьте следующие значения параметров: **Нагрузка на долото** - 10 кН; **Момент на долоте** - 1 кН*м; **Скорость проходки** - 15 м/ч; **Скорость вращения** – 60 об/мин.

Шаг 5.9. Выберите *Тип решателя* – *Stiff-String*.

Исходные данные

Сценарий
Имя: Роторное бурение 1

Положение в скважине
Траектория скважины
Траектория скважины
Конструкция скважины
Пример конструкции скважины
Положение долота, м: 2 500

Исходные данные
КНБК
Вращательная КНБК
Бурильная колонна
Верх БК
Буровой раствор
Drilling Fluid

Операция
 Роторное бурение
 Бурение забойным двигателем
 Вращение над забоем
 Подъем колонны
 Спуск колонны
 Обратная проработка ствола
 Проработка ствола
 Технологические операции

Параметр	Значение
Нагрузка на долото, кН	10
Момент на долоте, кН*м	1
Скорость проходки, м/час	15
Скорость вращения, об/мин	60

Расширенные настройки | Положение в скважине | Протокол

Графики | 3D схема

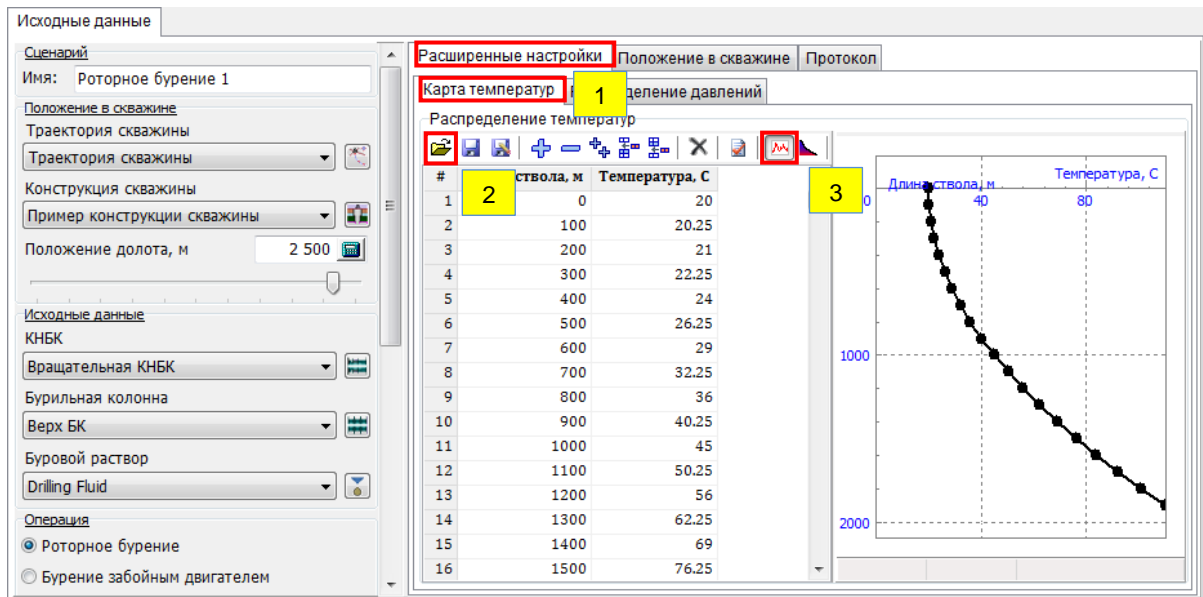
Глубина, м | Горизонтальное смещение, м

1510 | -581

Шаг 5.10. Перейдите на закладку **Расширенные настройки | Карта температур** для описания распределения температуры вдоль оси скважины.

Нажмите кнопку **Открыть** редактора температур и загрузите описание из файла *<Рабочий каталог>\temperatures\Пример карты температур.tmf*.

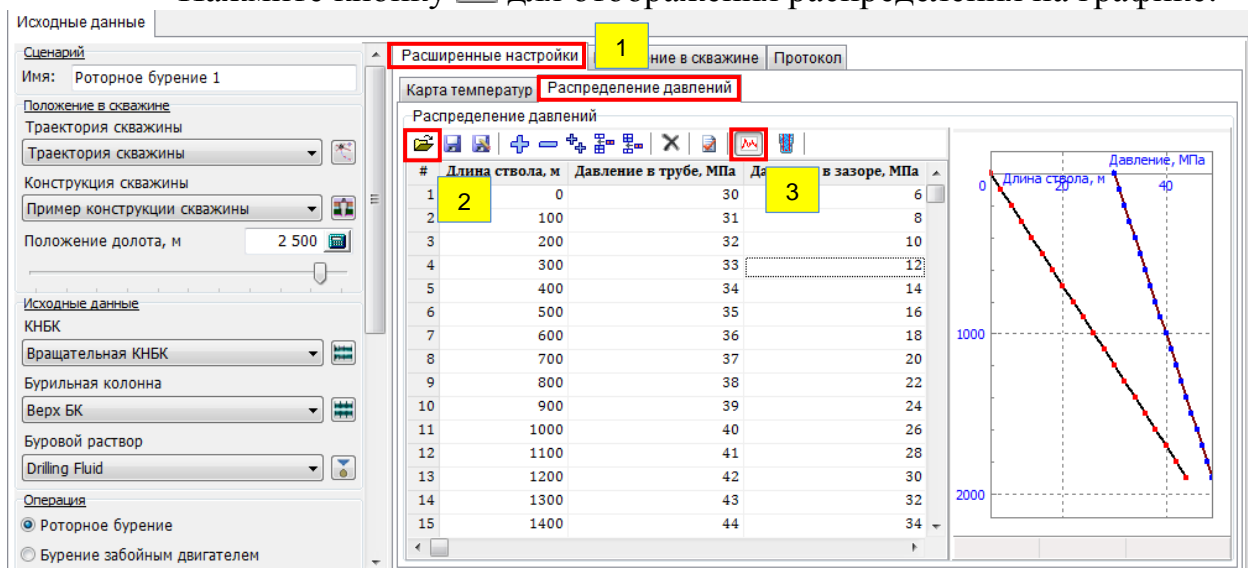
Нажмите кнопку для отображения распределения на графике.



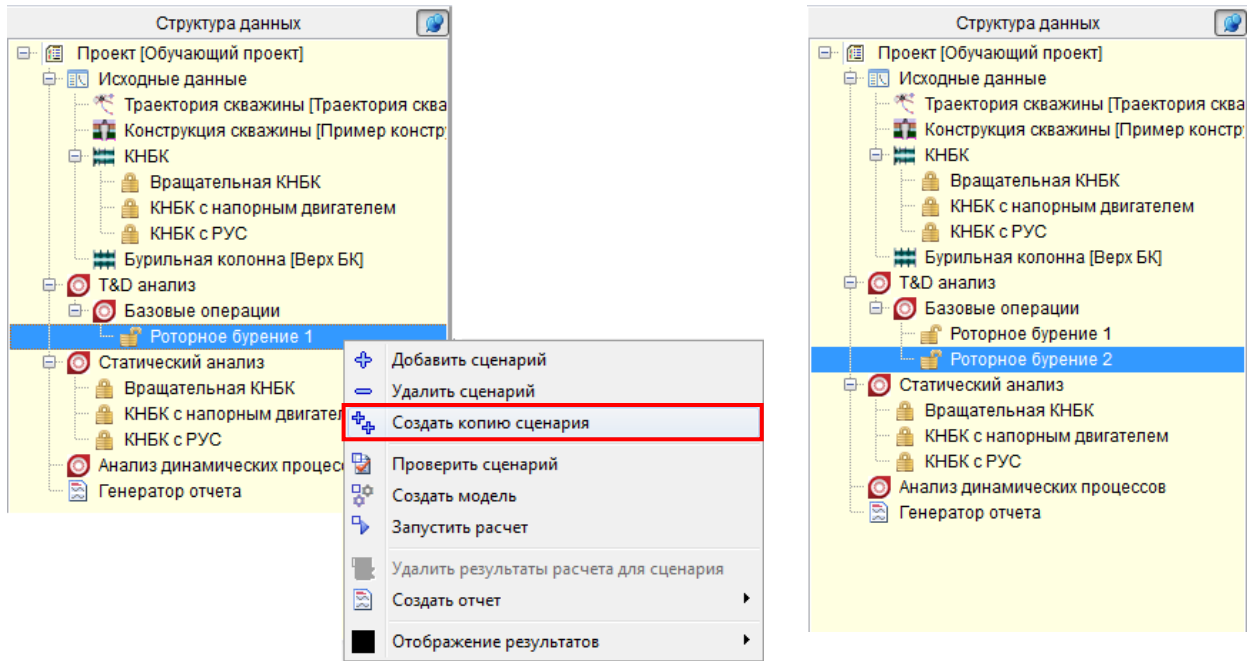
Шаг 5.11. Перейдите на закладку **Расширенные настройки | Карта давлений** для описания распределения давлений вдоль оси колонны.

Нажмите кнопку **Открыть** редактора температур и загрузите описание из файла *<Рабочий каталог>\pressures\Пример карты давлений.rtf*.

Нажмите кнопку для отображения распределения на графике.

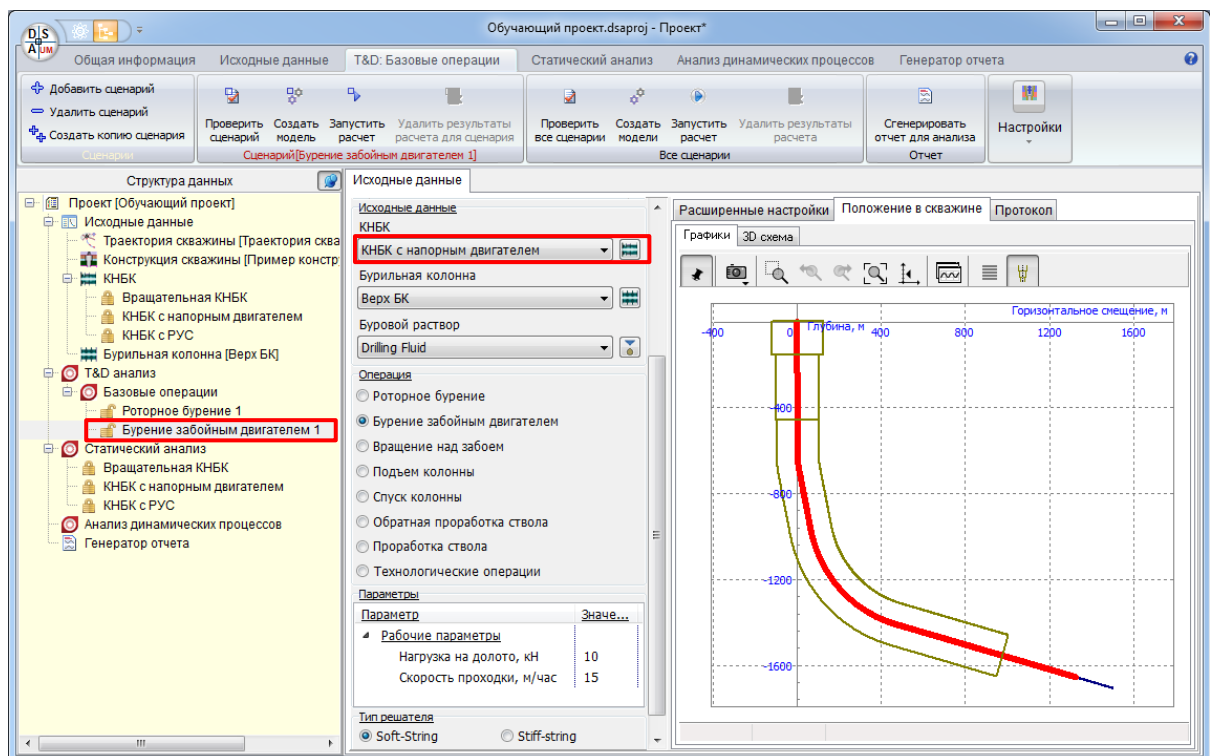


Шаг 5.12. Выберите сценарий *Роторное бурение 1* и в контекстном меню нажмите **Создать копию сценария**.



Шаг 5.13. Выберите добавленный сценарий *Роторное бурение 2* и поменяйте тип операции на **Бурение забойным двигателем**. Имя сценария автоматически изменится на *Бурение забойным двигателем 1*.

Шаг 5.14. Выберите элемент *КНБК с напорным двигателем* из списка для описания компоновки колонны.



Примечание. Обратите внимание, что для Soft-string решения управляемые параметры модели напорного двигателя не отображаются в таблице **Параметры**.

Если мы выберем в качестве типа решателя – **Stiff-string**, то таблица **Параметры** будет иметь следующий вид:

Параметр	Значение
Рабочие параметры	
Нагрузка на долото, кН	10
Скорость проходки, м/час	15
Управляемые параметры	
ММ: Скорость вращения, ...	150

Теперь наш проект содержит два сценария T&D анализа, результаты которых мы сможем проанализировать и сравнить между собой.

Шаг 5.15. Нажмите на кнопку **Проверить все сценарии** контекстного меню дерева навигации, либо головного меню для корректности описания сценариев.

При корректном описании в окне **Протокол** появится сообщение «Описание не содержит критических или потенциальных ошибок».

The screenshot shows the software interface with the 'Проверить все сценарии' (Check all scenarios) menu item highlighted in red. An arrow points from this menu item to the 'Протокол' (Protocol) window, which displays the message: 'Критических ошибок в исходных данных не обнаружено' (No critical errors in the initial data detected).

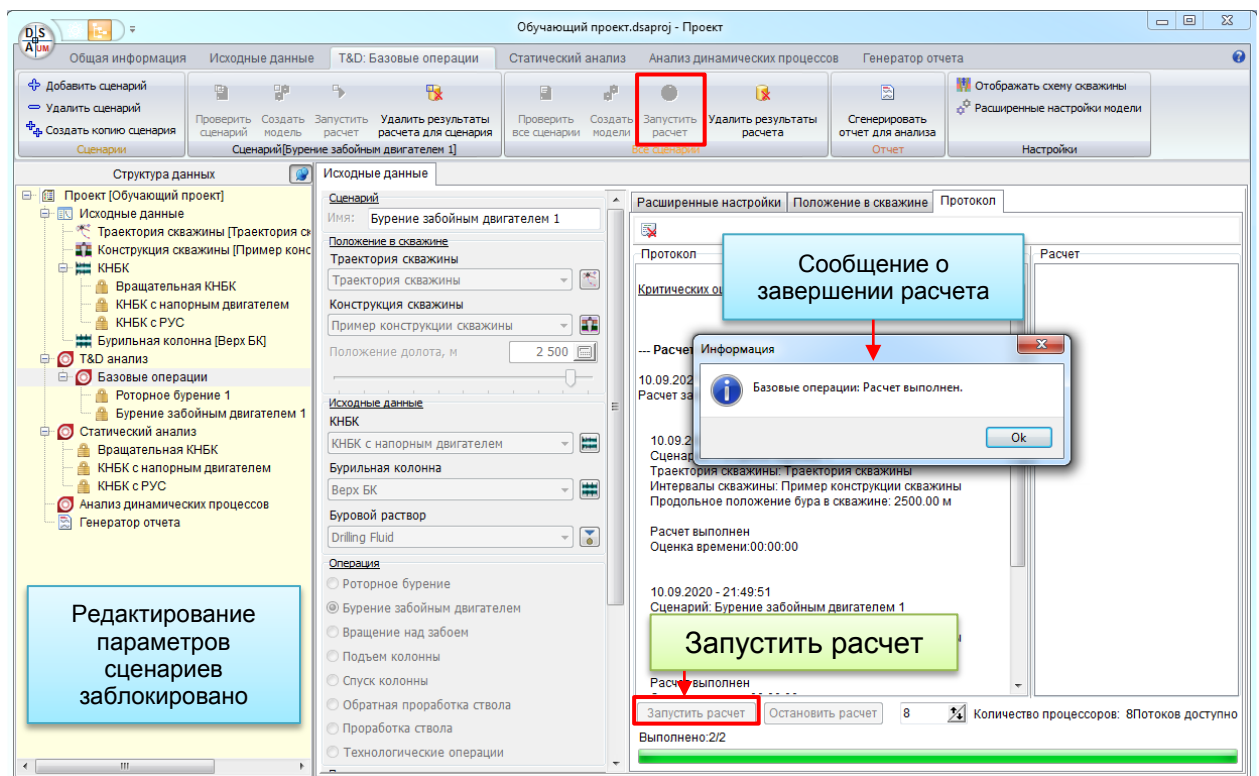
Сценарии *Роторное бурение 1* и *Бурение с забойным двигателем 1* описаны, проверены и готовы к расчету.

Шаг 5.16. Сохраните проект.

2.4.1. Запуск расчета

Шаг 5.17. Перейдите на закладку **Протокол** и нажмите кнопку **Запустить расчет** для расчета описанных сценариев.

Для каждого из рассчитываемых сценариев в поле **Расчет** будут добавлены шкалы прогресса выполнения.; в протоколе появится запись о начале выполнения расчета “--- Расчет запущен ---”; параметры сценария будут автоматически заблокированы для редактирования.



Внимание: Перед запуском расчета автоматически выполняется проверка корректности описания исходных данных и сохранение файла проекта.

Внимание: Пользователь может запустить расчет отдельного сценария (команда **Запустить расчет**), либо всех сценариев разом (**Запустить расчет**).

Сообщение ‘**Базовые операции: Расчет выполнен**’ автоматически появится по завершении расчета всех сценариев (~ 1 секунда для Soft-String решателя, 20-30 секунд для Stiff-String в нашем случае).

Шаг 5.18. Нажмите **Ok** чтобы закрыть сообщение.

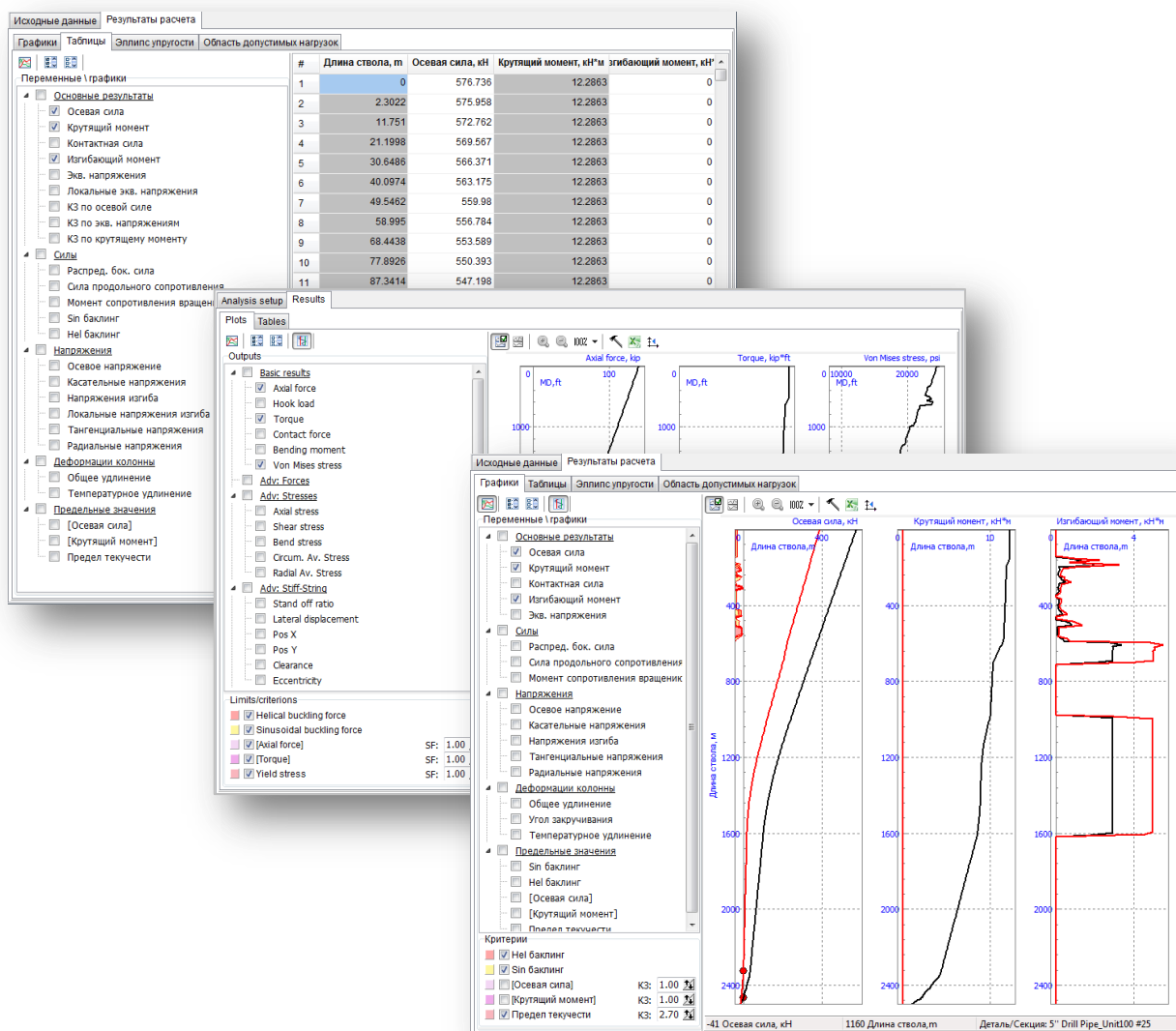
Результаты анализа были рассчитаны и сохранены в каталоге сценариев на жестком диске; перед рассчитанными сценариями в дереве навигации иконка меняется на .

2.4.2. Вывод результатов

В приложении UM Drillstring Analysis результаты T&D анализа представляются следующими способами:

- 2D графики: набор графиков – распределений расчетных величин по длине колонны – расположенных на одной странице.
- Табличное представление: вывод рассчитанных величин в таблицу.

Интерфейс позволяет выводить результаты, как для отдельного сценария, так и для набора выбранных сценариев для последующего сравнения.



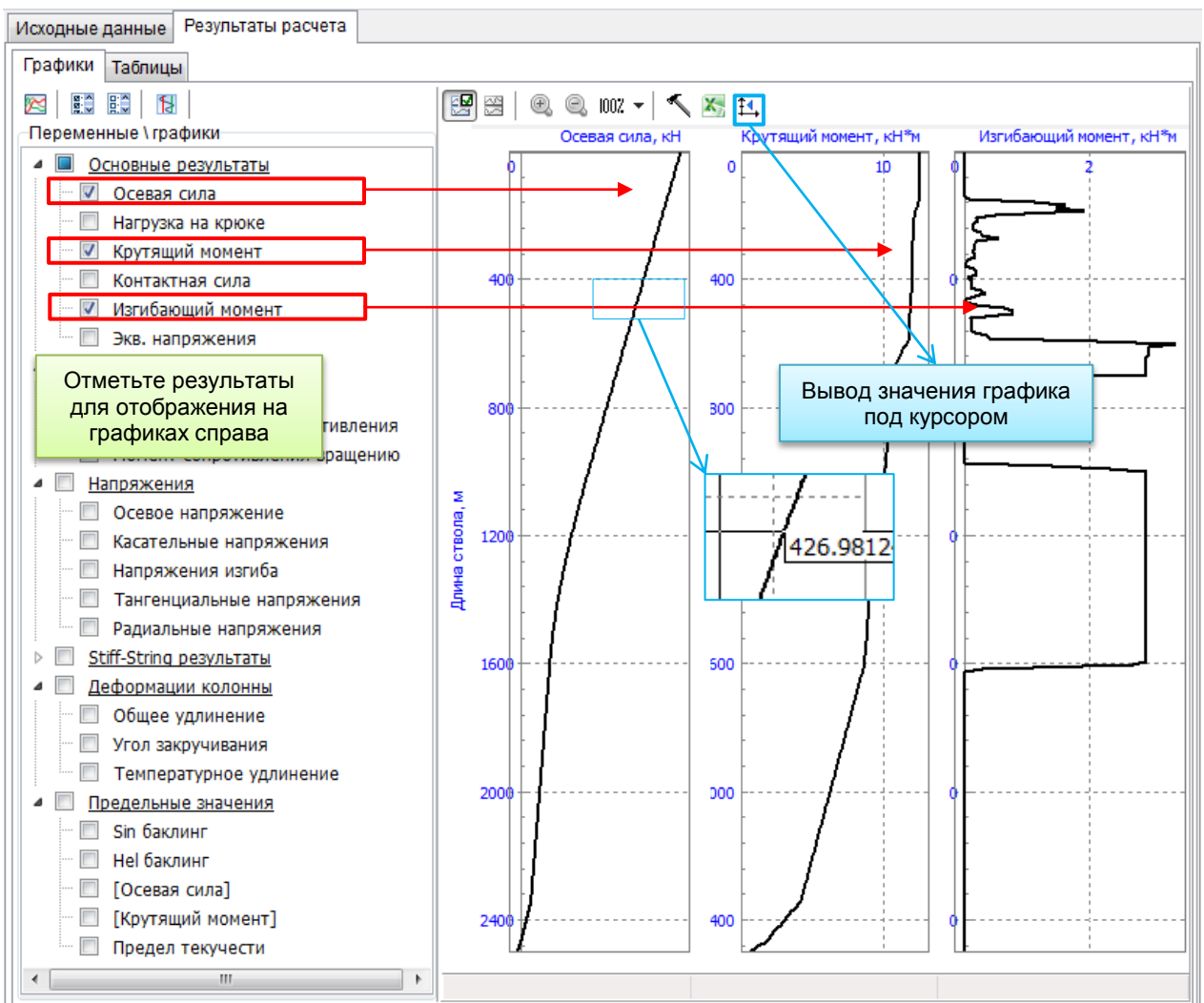
Шаг 5.19. Выберите узел, соответствующий рассчитанному сценарию (например, *Роторное бурение 1*), и перейдите на закладку **Результаты расчета**, появившуюся на правой панели.

2.4.2.1. Графики

Вывод результатов одного сценария

Шаг 5.20. Перейдите на закладку **Результаты расчета | Графики**.

Выберите интересующие результаты расчета в дереве **Переменные/Графики** – зависимости соответствующих величин от глубины отобразятся на графиках справа.



Для графиков доступны следующие опции отображения:

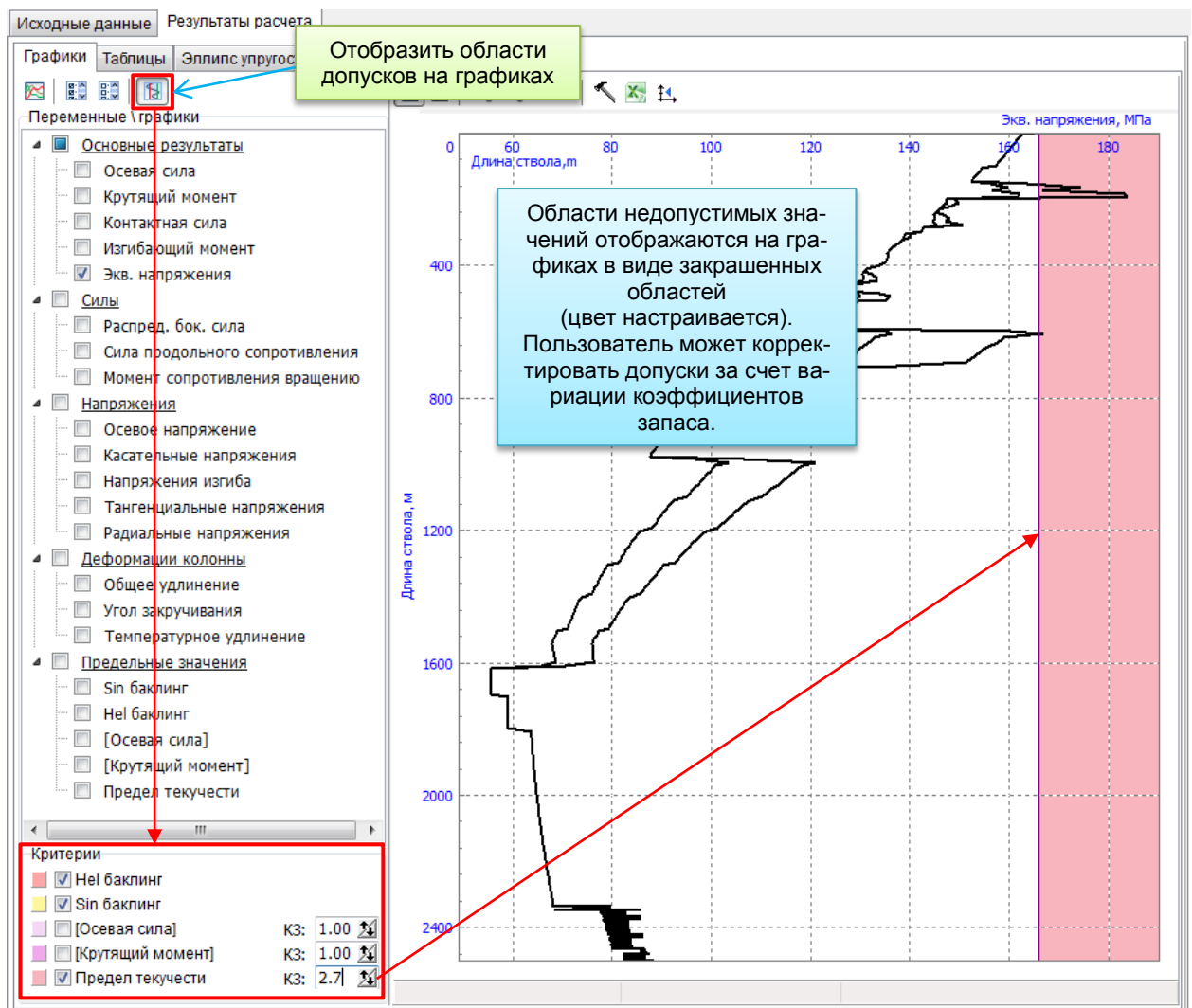
- Показать все графики на одном экране;
- Дополнительная настройка отображения графиков;
- Экспортировать график в документ MS Excel;
- Отобразить значение под курсором на области графика.

Оценка уровня результатов


Для оценки уровней рассчитанных величин с точки зрения безопасности на графиках можно отобразить области **Критериев/Допусков**.

Критерий	Описание
Hel/Sin баклинг	Аналитическая оценка уровней сжимающей осевой силы, приводящих к синусоидальной и спиральной формам потери устойчивости трубы в скважине.
[Осевая сила]	Максимально допустимая осевая сила, заданная для детали колонны.
[Крутящий момент]	Максимально допустимый крутящий момент, заданный для детали колонны.
Предел текучести	Предел текучести элемента колонны (по свойствам материала секций детали).

Шаг 5.21. Нажмите кнопку **Показать области допустимых значений** над списком переменных, отметьте критерий **[Предел текучести]** и поварьировать значение коэффициента запаса (**КЗ**) для оценки запаса по напряжениям.

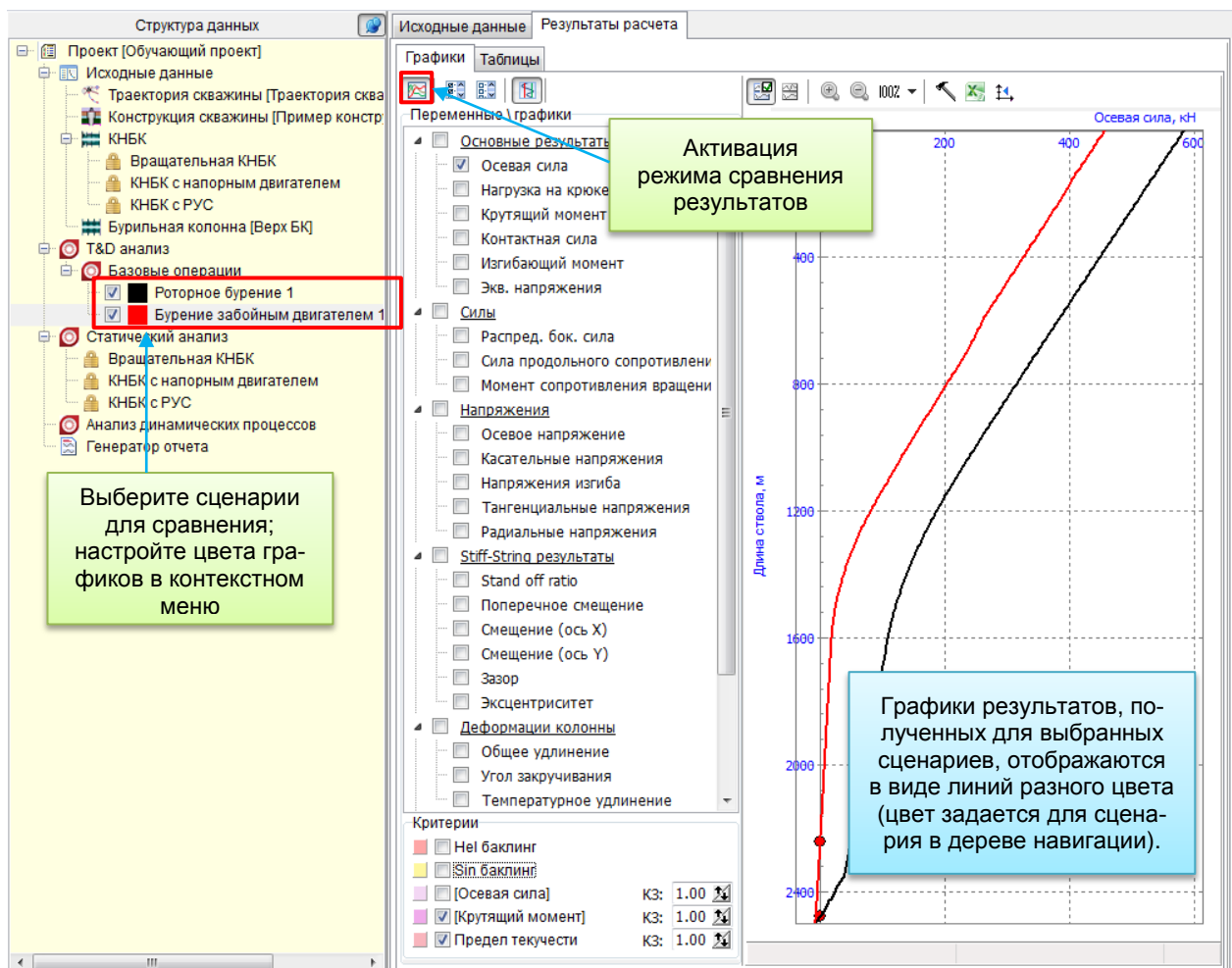


2.4.2.1.1. Режим сравнения результатов


Шаг 5.22. Нажмите кнопку , расположенную над списком результатов, для активации режима сравнения результатов для различных сценариев.

В дереве *Структура данных* для узлов сценариев добавятся поля для выделения сценариев, результаты которых пользователь хочет увидеть на одном графике.

Шаг 5.23. Отметьте «галочкой» сценарии *Роторное бурение 1* и *Бурение забойным двигателем 1* в дереве проекта для отображения результатов в режиме сравнения.

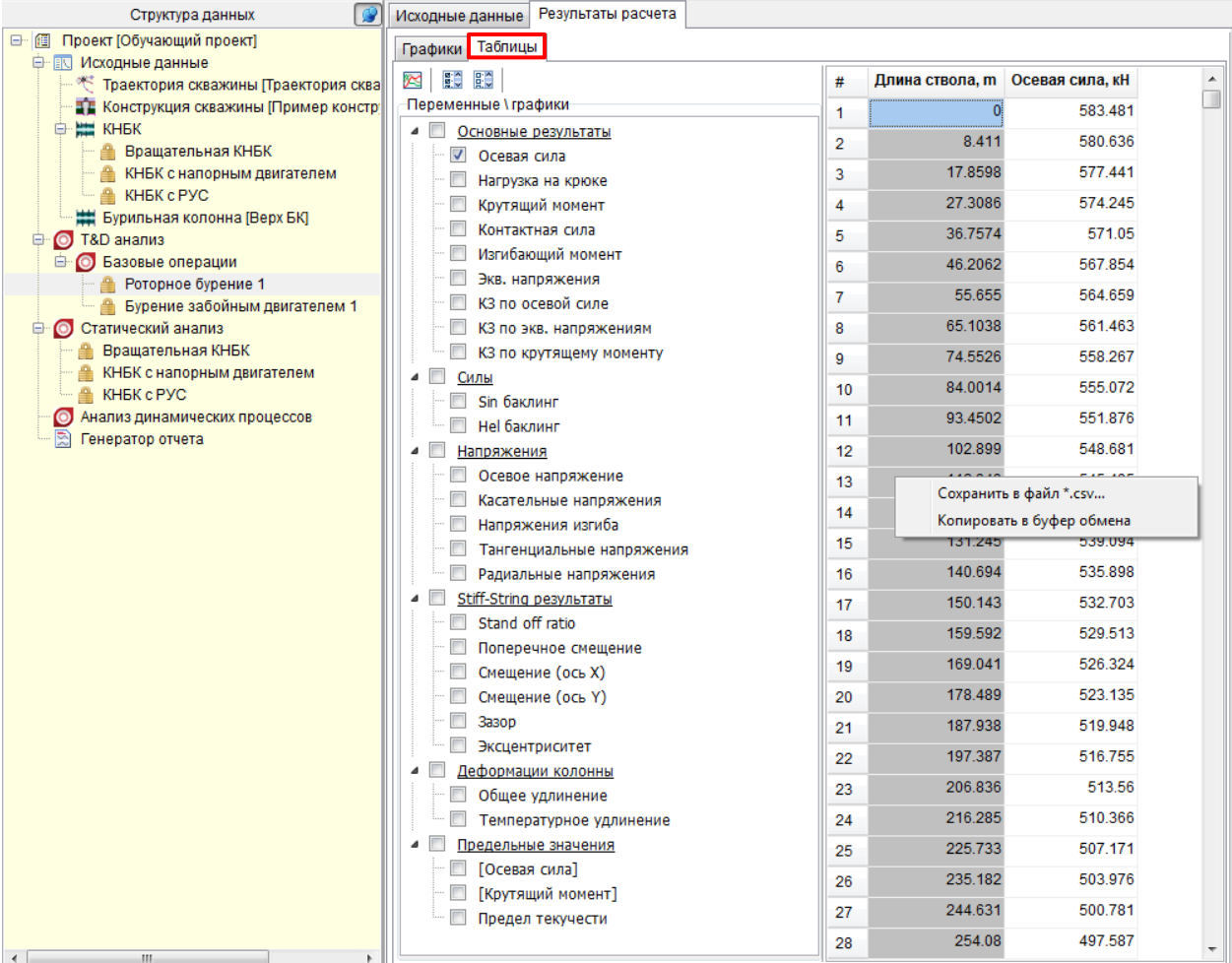


2.4.2.2. Таблицы

Шаг 5.24. Повторно нажмите кнопку , расположенную над списком результатов, для деактивации режима сравнения результатов для различных сценариев.

Шаг 5.25. Перейдите на закладку **Результаты расчета | Таблицы** для отображения числовых результатов, их экспорта в текстовый файл CSV, либо копирования в буфер обмена.

Отметьте необходимые результаты в дереве – распределения выбранных величин по длине колонны отобразятся в колонках таблицы.



The screenshot shows the 'Tables' tab in the software interface. On the left is a tree view of results, and on the right is a table of data. A context menu is open over the table, showing options to save to a CSV file or copy to the clipboard.

#	Длина ствола, м	Осевая сила, кН
1	0	583.481
2	8.411	580.636
3	17.8598	577.441
4	27.3086	574.245
5	36.7574	571.05
6	46.2062	567.854
7	55.655	564.659
8	65.1038	561.463
9	74.5526	558.267
10	84.0014	555.072
11	93.4502	551.876
12	102.899	548.681
13	112.348	545.485
14	121.797	542.289
15	131.245	539.094
16	140.694	535.898
17	150.143	532.703
18	159.592	529.513
19	169.041	526.324
20	178.489	523.135
21	187.938	519.948
22	197.387	516.755
23	206.836	513.56
24	216.285	510.366
25	225.733	507.171
26	235.182	503.976
27	244.631	500.781
28	254.08	497.587

Примечание: Колонка **Глубина** добавляется автоматически и является общей для всех рассчитанных результатов.

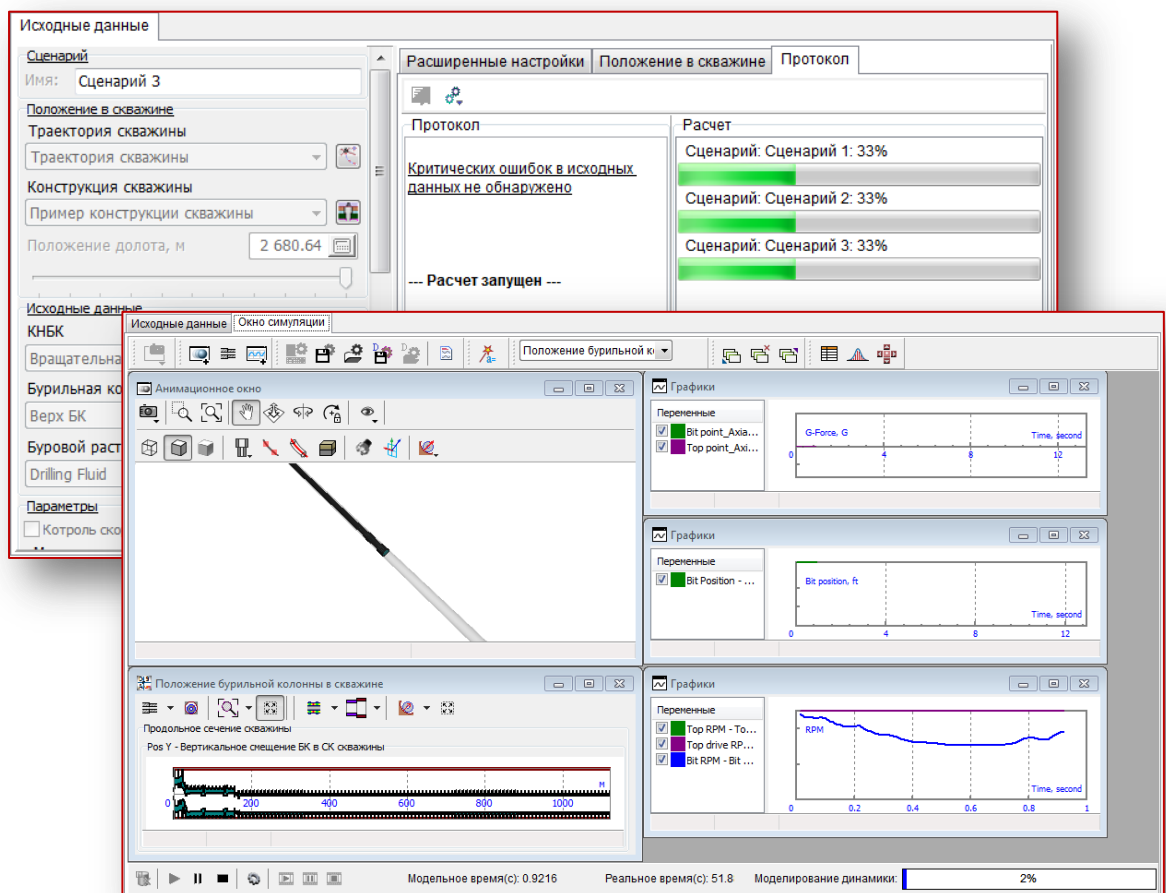
2.5. Анализ динамики колонны

В этом разделе руководства приводится краткий обзор методики анализа динамики бурильной колонны в скважине на примере исследования работы трех компоновок со сравнением полученных результатов.

2.5.1. Методика анализа

UM Drillstring Analysis включает набор инструментов для моделирования движения бурильной колонны в скважине с учетом операционных нагрузок, контактного взаимодействия со стенками скважины, сил резания на долоте и силовых возмущений, приложенных к элементам модели колонны.

Анализ динамики может проводиться для множества сценариев с постобработкой результатов расчета (как Статический или T&D Анализ); расчет одного сценария может также вестись в режиме симуляции – с анимацией движения модели и выводом результатов в процессе моделирования в *Окне симуляции*.



2.5.1.1. Модель колонны

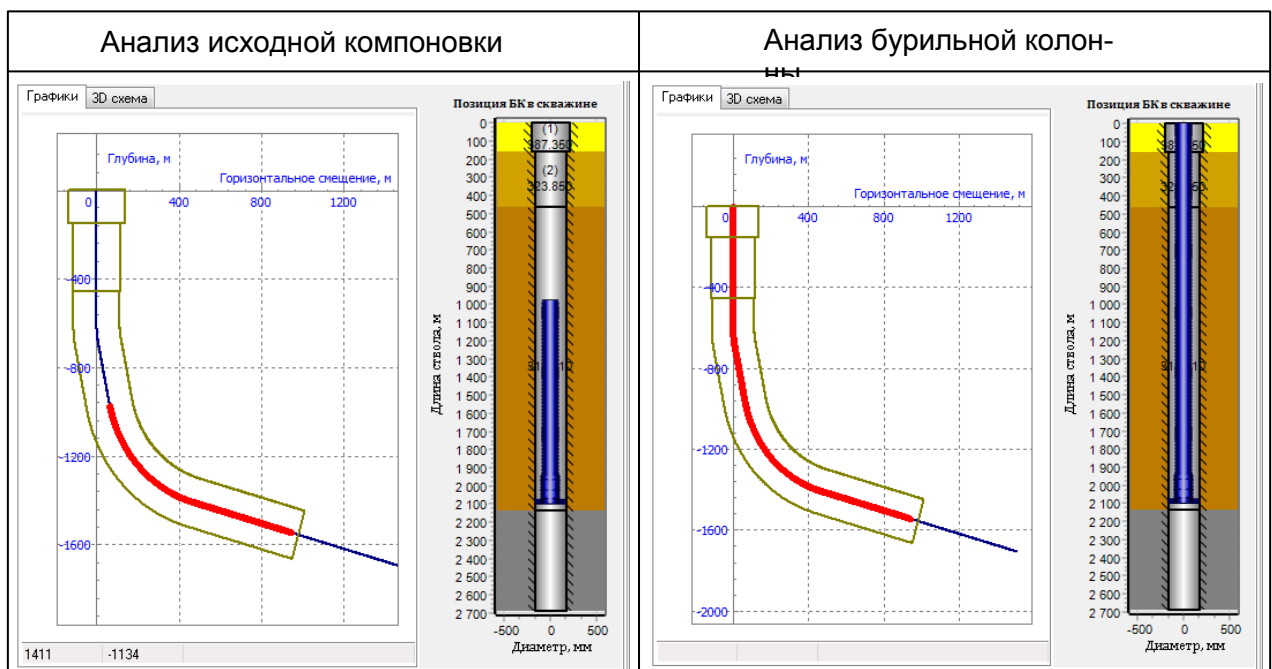
Для анализа принимается один из двух вариантов описания модели:

- Анализ исходной компоновки применяется для моделирования относительно коротких компоновок без учета движения верха колонны.

Модель формируется по выбранным описаниям КНБК и верхней части; осевая сила в верхней точке компоновки подбирается таким образом, чтобы на начало моделирования обеспечить заданную **Целевую нагрузку на долоте**.

- Анализ бурильной колонны позволяет исследовать динамику колонны от забоя до устья скважины; модель, сформированная по описаниям КНБК и верхней части, автоматически достраивается до устья скважины (повторением верхней детали компоновки).

Осевая сила на устье задается напрямую через параметры **Нагрузка на крюке** и **Вес СВП и ротора**.



2.5.1.2. Процедура расчета

Процедура анализа включает расчет начального положения и непосредственно, моделирование движения модели в скважине для заданного операционного режима.

➤ Расчет начального положения

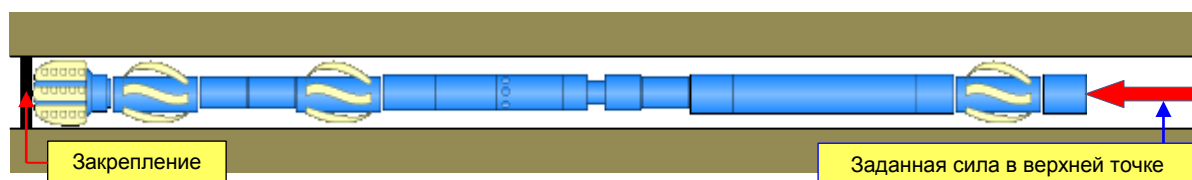
Расчет начального положения модели позволяет существенно сократить переходные процессы, возникающие при старте моделирования, не относящиеся непосредственно к исследуемому режиму работы оборудования.

Для определения начального положения модели в скважине применяется процедура Статического анализа (см. Раздел 2.3.1).

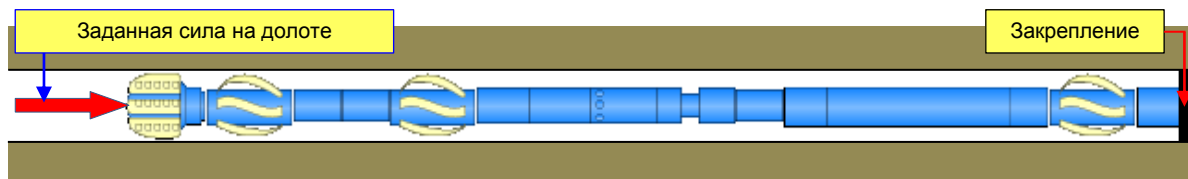
При *Анализе бурильной колонны* продольное движение долота ограничивается, а к верхней точке прикладывается осевая сила, равная **Нагрузке на крюке** за вычетом **Веса СВП и ротора**.

При *Анализе исходной компоновки* ограничивается перемещение верхней точки компоновки, а осевая сила, равна **Целевой нагрузке на долото**, прикладывается к долоту. Для ускорения процедуры расчета применяется приближенный расчет по методике Soft-string T&D анализа (см. Раздел 2.4.1).

Расчет начального положения в режиме *Анализ бурильной колонны*



Расчет начального положения в режиме *Анализ исходной компоновки*



Примечание. Пользователь может задать дополнительные ограничения на поперечные смещения верхней точки и долота в скважине.

Полученные значения координат модели принимаются в качестве начальных для последующего моделирования движения; значения сил, возникающих в наложенных связях (закреплениях), используются для инициализации модели силы резания на долоте.

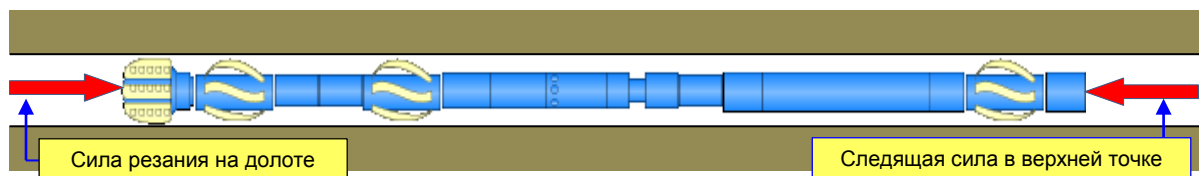
➤ Моделирование движения

Граничные условия для модели переопределяются:

- при *Анализе бурильной колонны* – снимается ограничение на продольное движение долота; значение осевой силы, полученное при расчете начального положения, используется для инициализации силы резания на долоте (начальное значение).
- при *Анализе исходной компоновки* – снимается ограничение на продольное движение верхней точки модели; значение осевой силы, полученное при расчете начального положения, используется для инициализации следящей осевой силы.

В процессе моделирования движения осевая сила на долоте не задается, а рассчитывается на основании принятой модели резания (см. Раздел 3.4).

Граничные условия на этапе моделирования движения



Для обеспечения заданной скорости вращения к верхней точке модели прикладывается контрольный момент, описываемый пропорционально-интегральным регулятором (момент зависит от невязок по текущей скорости и текущему углу поворота). В начальный момент модели сообщается заданное значение скорости вращения.

При активации режима **Контроль скорости проходки** скорость осевого смещения верхней точки модели контролируется следящей силой (сила пропорциональна рассогласованию по текущей и заданной скорости, а также и текущего смещения точки).

Кинематические характеристики движения модели и значения сил автоматически записываются в ходе моделирования и могут быть воспроизведены после завершения расчета. С помощью интерфейса *Окно симуляции* Пользователь может визуальнo контролировать процесс моделирования в анимационных окнах (изображение движущейся модели), графических (значения кинематических характеристик и сил, распределения параметров вдоль модели колонны и скважины) окнах, а также специальных инструментов отображения положения модели в скважине.

2.5.1.3. Параметры сценария

В рамках проекта доступно описание множества *сценариев* Анализа динамики колонны, описание каждого из которых содержит следующую информацию:

- Положение в скважине: траектория и конструкция скважины¹, начальное положение (глубина) долота в скважине.

- Исходные данные: компоновка нижней и верхней частей буровой колонны¹, а также буровой раствор².

- Тип модели компоновки: **По описанию** – для *Анализа исходной компоновки* и **До поверхности** – для *Анализа буровой колонны* (см. 2.5.1.1).
- Контроль скорости проходки: опция, активирующая контроль за скоростью движения верхней точки колонны.

¹ Данные задаются путем выбора из списка описаний, добавленных в проект

² Выбирается из справочника буровых растворов (см. Раздел 1.2.1.3)

- Операционные параметры: скорость вращения верхней части компоновки, сила в верхней точке (*Анализ бурильной колонны*) либо сила на долоте (*Анализ исходной компоновки*). При активации опции **Контроль скорости проходки** к списку операционных параметров добавляется **Скорость проходки**.
- Управляемые параметры: параметры деталей колонны, указанные в качестве *управляемых* при описании компоновки (см. Раздел 3.2.1.5); параметры модели колонны, доступные для изменения в рамках описания сценария (без правки описания компоновки).
- Настройки моделирования: **Время моделирования** – интервал времени, в рамках которого исследуется движение модели; **Максимальное время** – максимальная продолжительность выполнения расчета сценария.

Параметр	Зна...
Операционные параметры	
Целевая сила на долоте, кН	44....
Скорость вращения, об/мин	60
Скорость проходки, м/час	18
Настройки моделирования	
Время моделирования, сек	60
Максимальное время, сек	1000

- Силовые возмущения: опциональный учет силовых возмущений, приложенных к элементам модели; применяется для упрощенного моделирования периодических и аperiodических сил, возникающих в деталях колонны (например, инерционная сила, возникающая при движении ротора напорного двигателя), либо являющихся результатом взаимодействия деталей со скважиной (например, гармонические силы, описывающие взаимодействия лезвий стабилизатора со стенками скважины). Подробное описание моделей силовых возмущений приведено в разделе 3.4.
- Силы резания на долоте: опциональный учет сил и моментов, возникающих при взаимодействии долота с поверхностью забоя. При отключенной опции модель силы резания заменяется односторонним ограничением на продольное движение долота вдоль оси скважины. Модели сил резания, реализованные в UM Drillstring Analysis, рассматриваются в разделе 3.5.



2.5.2. Описание сценариев

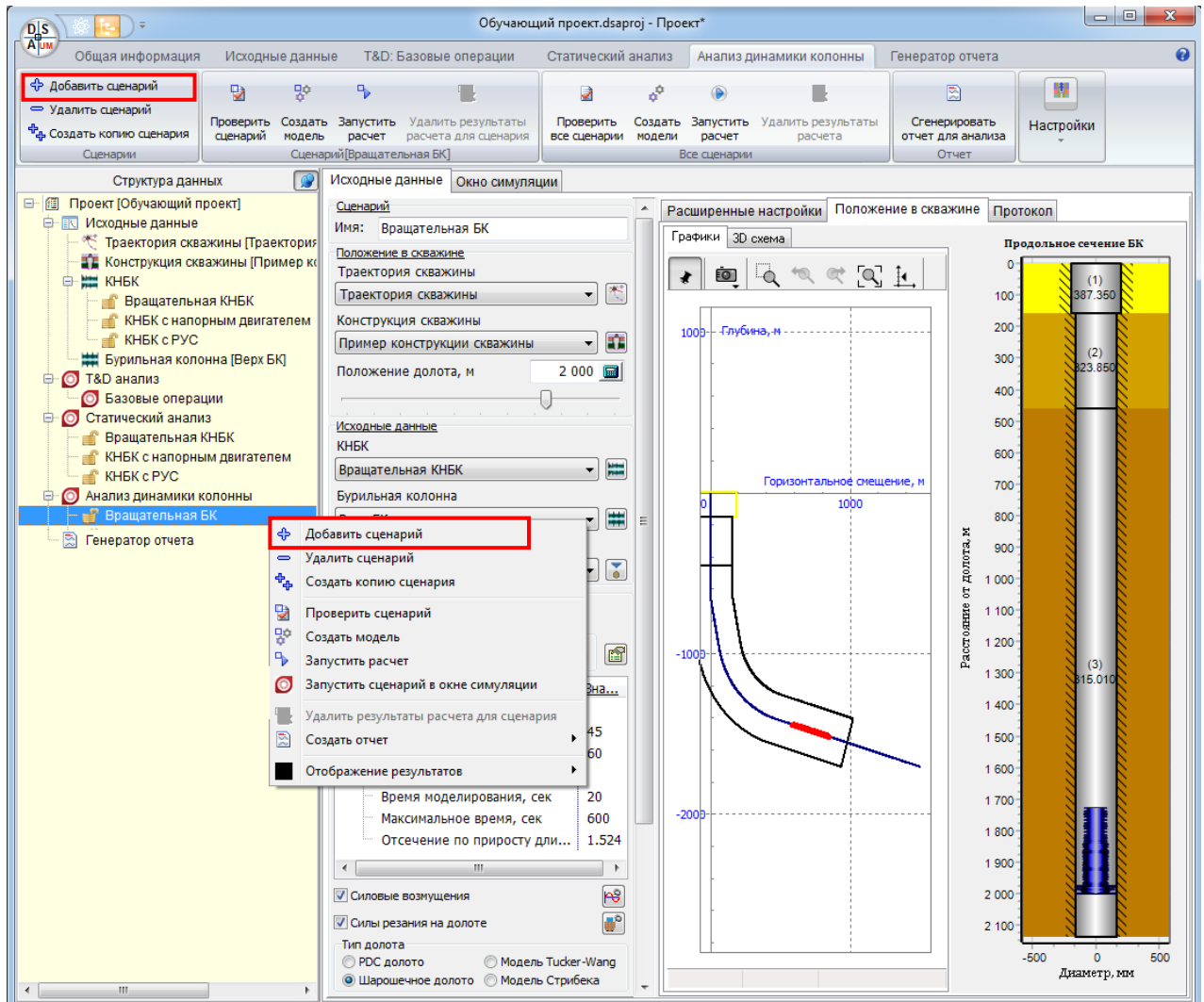
Для демонстрации процедуры анализа динамики колонны создадим, рассчитаем и рассмотрим полученные результаты для четырех сценариев:

- *Вращательная компоновка с шарошечным долотом*
Анализ динамики бурильной колонны (нижняя часть), оснащенной вращательной КНБК с шарошечным долотом.
- *Контроль скорости проходки*
Анализ динамики бурильной колонны (от поверхности), оснащенной вращательной КНБК с PDC долотом, в режиме с заданной скоростью проходки.
- *Компоновка с напорным двигателем*
Анализ динамики бурильной колонны (нижняя часть), оснащенной КНБК с напорным двигателем с PDC долотом.
- *Компоновка с РУС*
Анализ динамики бурильной колонны (нижняя часть), оснащенной КНБК с РУС и PDC долотом; анализ влияния управления на динамический процесс.

Рассмотрим процедуру создания четырех расчетных сценариев, соответствующих поставленным задачам. Описание производится в рамках стандартного интерфейса описания сценариев для различных типов анализа (см. Раздел 1.3.4.4), включающего набор специализированных инструментов для ввода исходных данных для *Анализа динамики колонны*.

2.5.2.1. Описание сценария *Вращательная БК*

Шаг 6.1. Выберите узел **Анализ динамических процессов** в дереве навигации проекта и воспользуйтесь контекстным или главным меню для добавления нового сценария.




Сценарий 1 добавится в список сценариев *Анализа динамики колонны* проекта; соответствующий узел отобразится и будет выделен в дереве навигации; параметры сценария отобразятся на закладке **Исходные данные** справа.


Опишем базовые параметры нового сценария на средней панели.

Шаг 6.2. Задайте новое имя сценария – **Вращательная БК**. Новое имя автоматически отобразится в дереве навигации.

Шаг 6.3. Выберите **Траектория скважины** из списка траекторий, описанных в проекте.


Примечание: Для быстрого перехода к описанию траектории можно воспользоваться кнопкой  справа от списка.

Шаг 6.4. Выберите **Описание конструкции скважины** из списка конструкций, описанных в проекте.

Примечание: Для быстрого перехода к описанию конструкции можно воспользоваться кнопкой  справа от списка.

Шаг 6.5. Задайте **Положение долота** равным **2000** метров.

Шаг 6.6. Выберите **Вращательная КНБК** из списка компоновок нижней части колонны.

Примечание: Для быстрого перехода к описанию компоновки можно воспользоваться кнопкой  справа от списка компоновок.

Шаг 6.7. Выберите **Буровой раствор 1** из списка растворов; список содержит все элементы БД жидкостей (см. Раздел 1.2.1.3).

Примечание: При необходимости новый буровой раствор добавляется в БД жидкостей и затем выбирается при описании сценария.

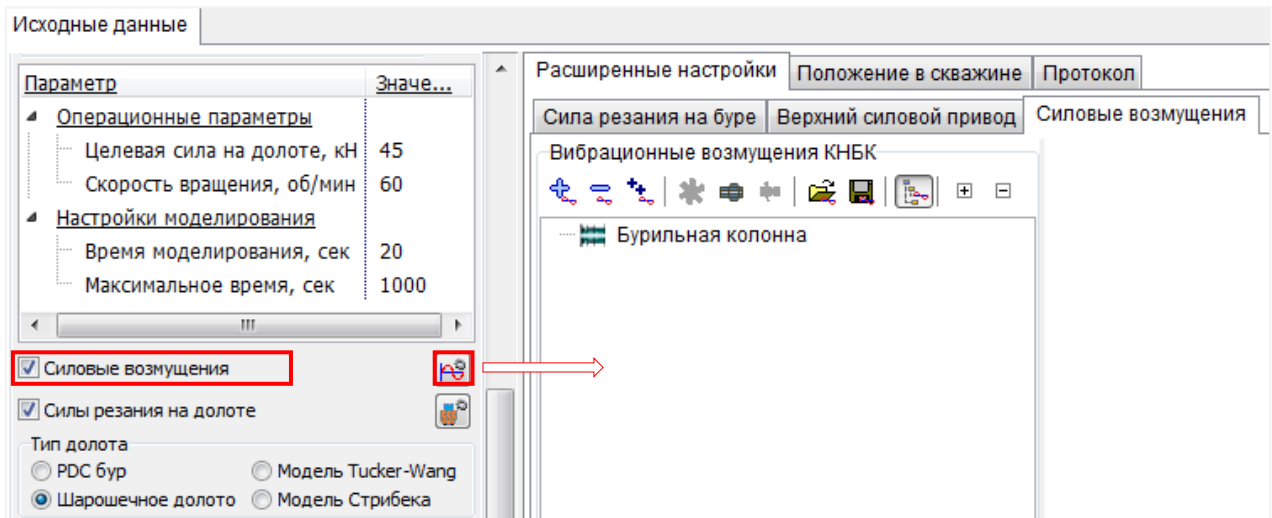
Шаг 6.8. Выберите **Тип модели – По описанию**

Примечание: При смене типа модели появится сообщение, предупреждающее о смене расчетной схемы, применяемой при расчете начального положения компоновки (*По описанию – Сила на долоте, До поверхности – Сила на крюке*), см. 2.5.1.1.

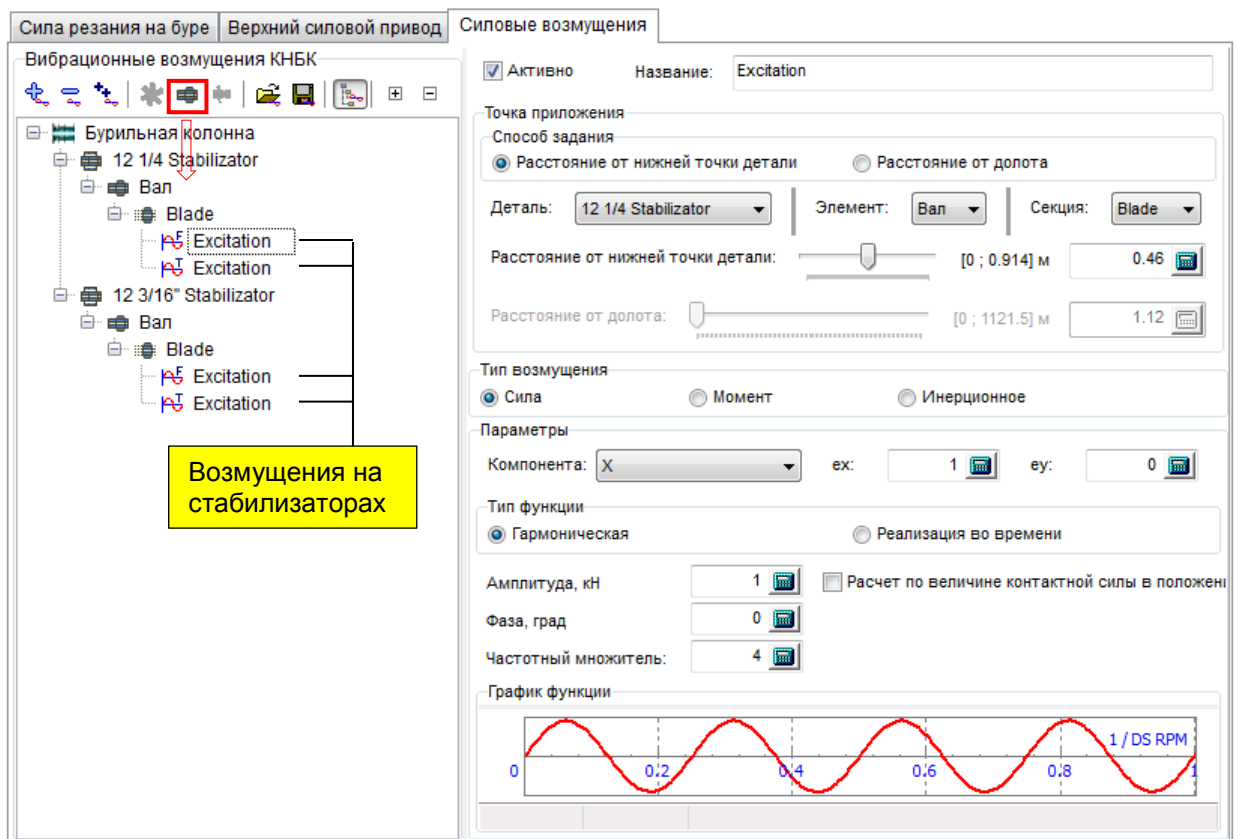
Шаг 6.9. Задайте числовые параметры:

Параметр	Значение
Операционные параметры	
Нагрузка на долоте	45кН
Скорость вращения	60 об/мин
Настройки моделирования	
Время моделирования	20 сек
Максимальное время	600 сек

Шаг 6.10. Активируем **Силовые возмущения** и по кнопке переходим на закладку **Расширенные настройки – Силовые возмущения**.

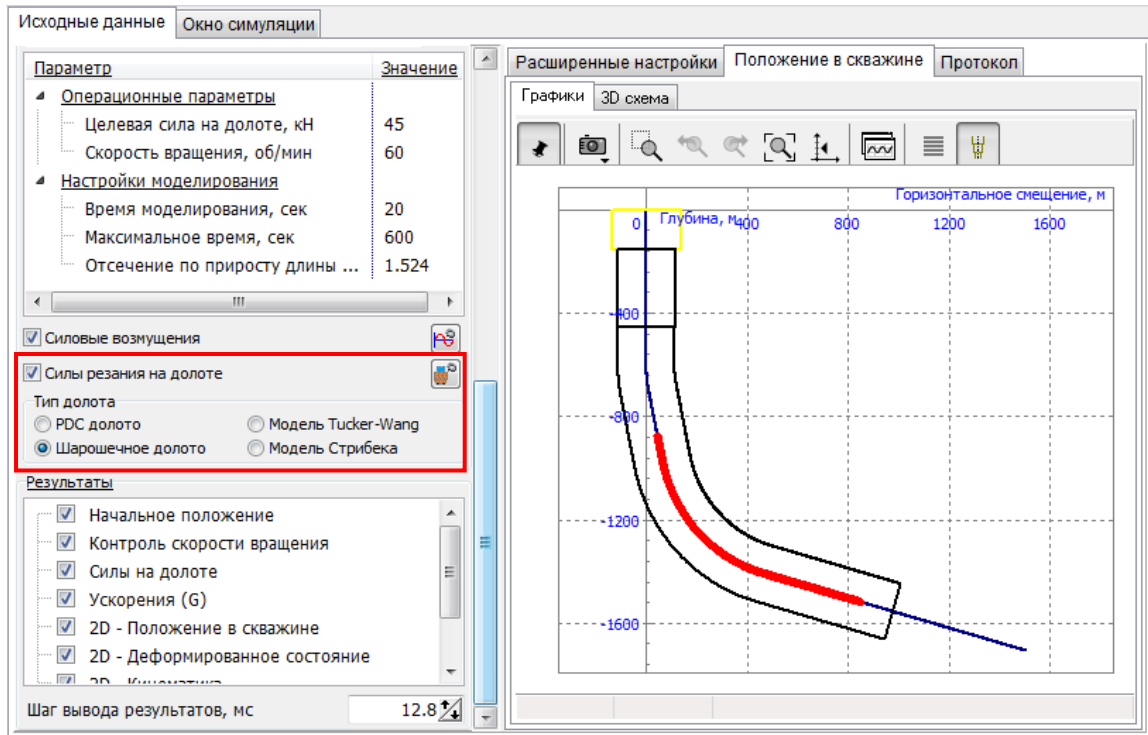


Шаг 6.11. Нажмите кнопку для автоматического добавления возмущения на стабилизаторах.



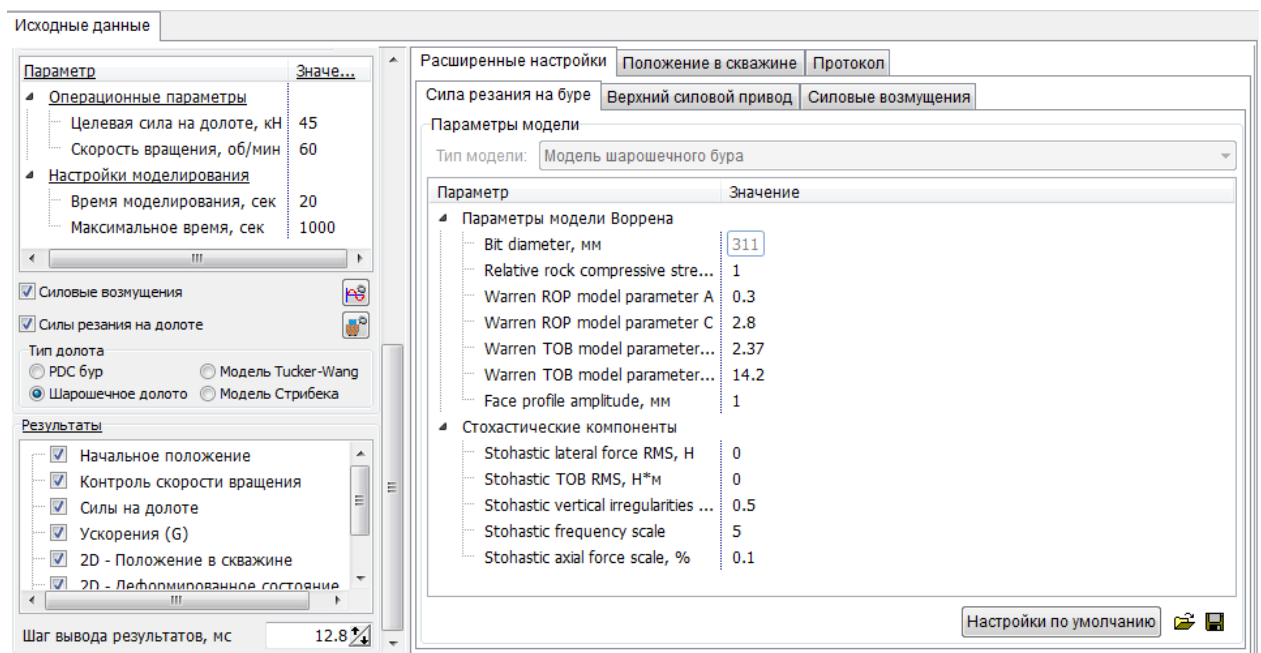
Примечание. Для каждой *Секции с лезвиями*, использующих модель контакта типа «Окружность-Цилиндр», добавляется пара гармонических силовых возмущений – переменная поперечная сила и переменный крутящий момент – с частотой кратной числу лезвия на секции.

Шаг 6.12. Активируем Силы резания на долоте и выберем Тип долота - Шарошечное.



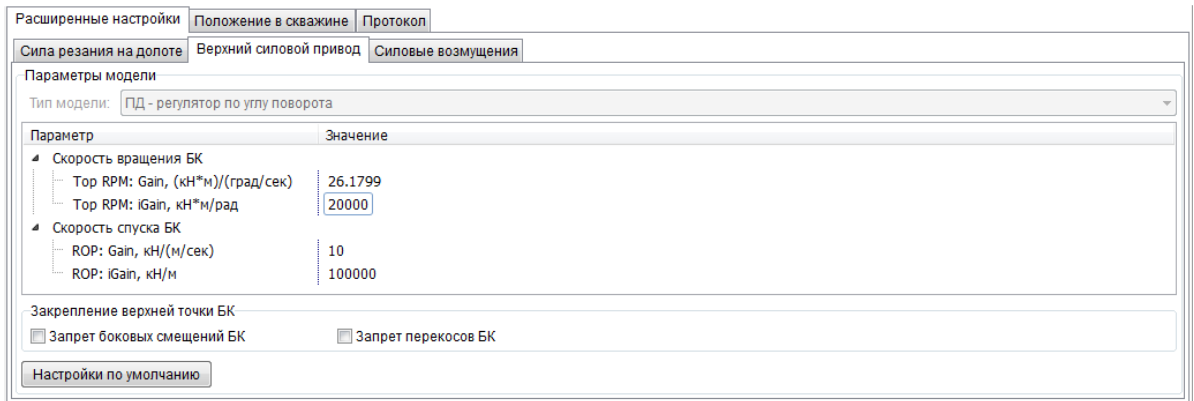
Шаг 6.13. Нажмите кнопку для быстрого перехода на закладку Расширенные настройки – Силы резания на долоте.

При создании нового сценария используются настройки модели по умолчанию; подробнее, см. Раздел 3.5.



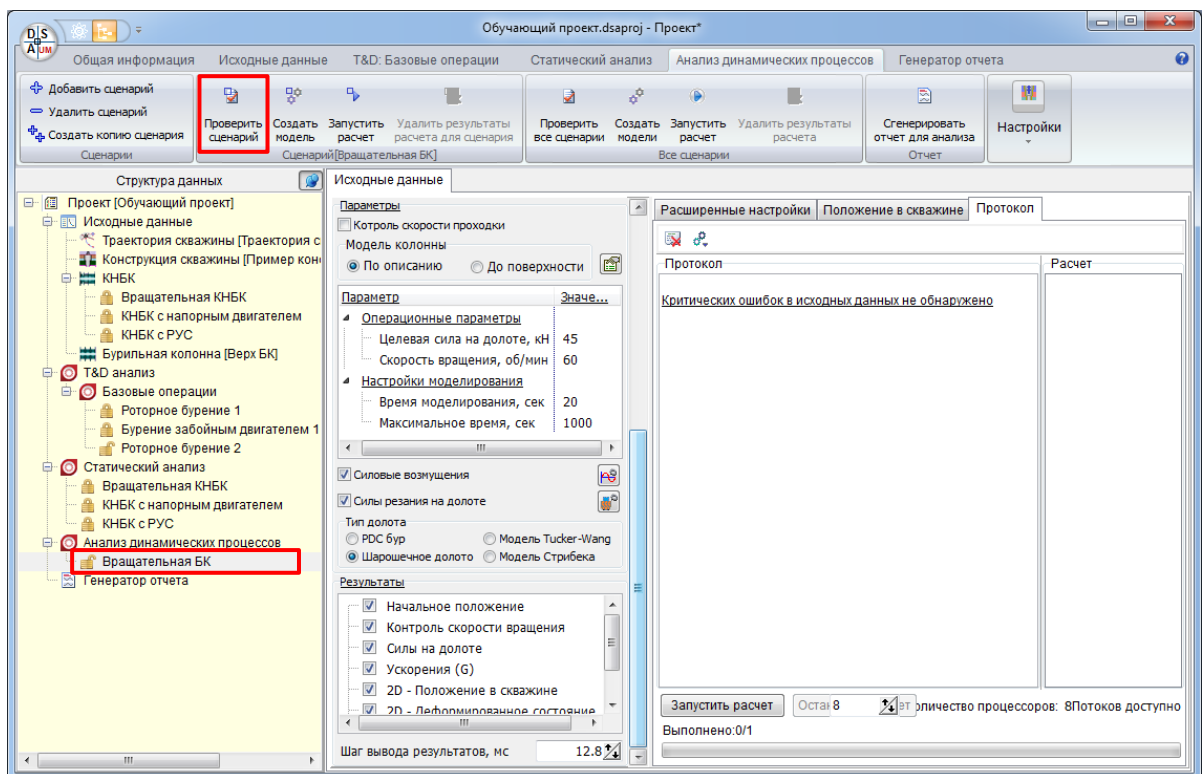
Диаметр долота в настройках автоматически принимается равным диаметру первой секции первой детали КНБК.

Шаг 6.14. Перейдите на закладку **Расширенные настройки – Верхний силовой привод** и проверьте значения пропорционального и интегрального членов системы управления скоростью вращения верхней точки колонны. Значения по умолчанию: $\text{Gain} = 26$ (кН*м)/(град/сек), $i\text{Gain} = 20\,000$ кН*м/рад.



Шаг 6.15. Нажмите кнопку **Проверить сценарий** в контекстном меню дерева навигации, либо головном меню для проверки корректности описания сценария.

В **Протокол** будет добавлено сообщение **‘Критических ошибок в исходных данных не обнаружено’**.



Сценарий *Вращательная БК* описан, проверен и готов к выполнению расчета.

Шаг 6.16. Сохраните проект.

2.5.2.1. Описание сценария *Контроль скорости проходки*

Шаг 6.17. Выберите сценарий **Вращательная БК** в дереве навигации проекта и создайте его копию (Создать копию сценария).

Шаг 6.18. Переименуйте добавленный сценарий в *Контроль скорости проходки*.

Шаг 6.19. Укажите **Положение долота** равным **500** м.

Шаг 6.20. Отметьте пункт **Контроль скорости проходки**.

Шаг 6.21. Выберите Тип модели колонны – **До поверхности**.

The screenshot displays the software interface with several key elements highlighted by red boxes and numbered yellow callouts:

- 1:** The scenario name is set to "Контроль скорости проходки".
- 2:** The bit position is set to 500 meters.
- 3:** The "Контроль скорости проходки" checkbox is checked.
- 4:** The "До поверхности" (To surface) radio button is selected under the column model type.

The central plot shows the wellbore trajectory with depth (Глубина, м) on the y-axis (0 to -2400) and horizontal displacement (Горизонтальное смещение, м) on the x-axis (0 to 1200). A red vertical line indicates the bit position at 500m depth. To the right, a vertical column diagram shows the drillstring components and their positions along the wellbore.

Параметр	Значение
Имя сценария	Контроль скорости проходки
Положение долота, м	500
Контроль скорости проходки	✓
Тип модели колонны	До поверхности
Нагрузка на крюке, кН	350
Вес СВП и ротора, кН	20
Скорость вращения, об/мин	60
Скорость проходки, м/час	40
Время моделирования, сек	20
Максимальное время, сек	1200
Отсечение по приросту дли...	1.524

Обратите внимание, что список параметров сценария изменился – вместо параметра **Нагрузка на долоте** добавились **Нагрузка на крюке** и **Вес ВСП и ротора**, появился параметр **Скорость проходки**.

Шаг 6.22. Выберите Тип долота – PDC долото.

Тип долота

PDC долото Модель Tucker-Wang
 Шарошечное долото Модель Стрибека

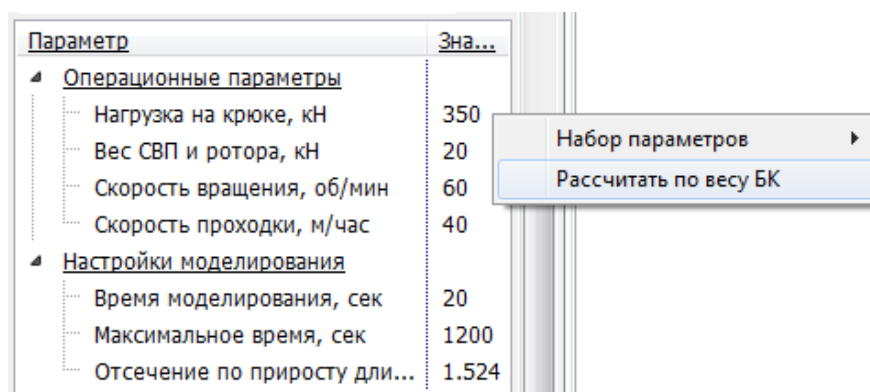
Примечание. Модель PDC долота позволяет моделировать съем породы в забое – продвижение долота вдоль заданной траектории скважины (см. Раздел 0).

Шаг 6.23. Задайте числовые параметры:

Параметр	Значение
Операционные параметры	
Нагрузка на крюке	350 кН
Вес СВП и ротора	20 кН
Скорость вращения	60 об/мин
Скорость проходки	40 м/час
Настройки моделирования	
Время моделирования	20 сек
Максимальное время	1200 сек
Отсечение по приросту длины ствола	1.524 м

Примечание

Для оценки величины параметра **Нагрузка на крюке**, соответствующей ненулевой силе на долоте можно воспользоваться опцией **Рассчитать по весу БК** контекстного меню таблицы параметров.



Шаг 6.24. Нажмите кнопку **Проверить сценарий** для проверки корректности описания сценария.

Сценарий *Контроль скорости проходки* описан, проверен и готов к расчету.

Шаг 6.25. Сохраните проект.

2.5.2.2. Описание сценария БК с напорным двигателем

Шаг 6.26. Выберите сценарий **Вращательная БК** в дереве навигации проекта и создайте его копию (Создать копию сценария).

Шаг 6.27. Переименуйте добавленный сценарий в *БК с напорным двигателем*.

Шаг 6.28. Выберите **КНБК с напорным двигателем** из списка компоновок нижней части колонны.

The screenshot displays the software interface with several key elements highlighted:

- Scenario Name:** "БК с напорным двигателем" (highlighted with a red box and labeled '1').
- Component Selection:** "КНБК с напорным двигателем" (highlighted with a red box and labeled '2').
- Wellbore Diagram:** A 2D plot showing depth (Глубина, м) on the y-axis (0 to -2000) and horizontal displacement (Горизонтальное смещение, м) on the x-axis (-1000 to 1000). A blue line indicates the wellbore trajectory, which curves downwards and to the right.
- Longitudinal Section:** A vertical cross-section on the right showing the wellbore diameter (Диаметр, мм) on the x-axis (-500 to 500) and distance from the bit (Расстояние от долота, м) on the y-axis (0 to 2700). Three sections are labeled: (1) at 387.350 m, (2) at 823.850 m, and (3) at 815.010 m.
- Parameters Table:** A table at the bottom left lists various parameters, with the "Управляемые параметры" (Controllable parameters) group highlighted in yellow:

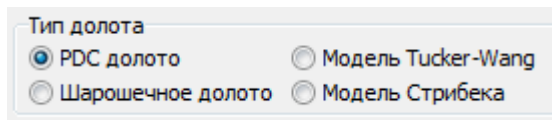
Параметр	Значение
Операционные параметры	
Целевая сила на долоте, кН	45
Скорость вращения, об/мин	0
Настройки моделирования	
Время моделирования, сек	20
Максимальное время, сек	600
Отсечение по приросту дли...	1.524
Управляемые параметры	
MM: Скорость вращения, об/...	150
Bend: Направление, град	0
Bend: Угол отклонения, град	2.5

Обратите внимание, что список параметров сценария изменился – в списке появилась группа *Управляемые параметры*, включающая соответствующие параметры деталей компоновки. Пользователь может варьировать эти параметры без модификации описания компоновки.

Опишем вариант работы КНБК, при котором верхняя часть колонны не вращается, но работает напорный двигатель, обеспечивая вращение нижней части отклоненной на 5 градусов вверх.




Внимание. Ориентация отклоняемой части будет выдерживаться автоматически, так как при описании модели напорного двигателя мы выбрали опцию **Сохранять ориентацию** (см. Раздел 2.2.3.2.1).

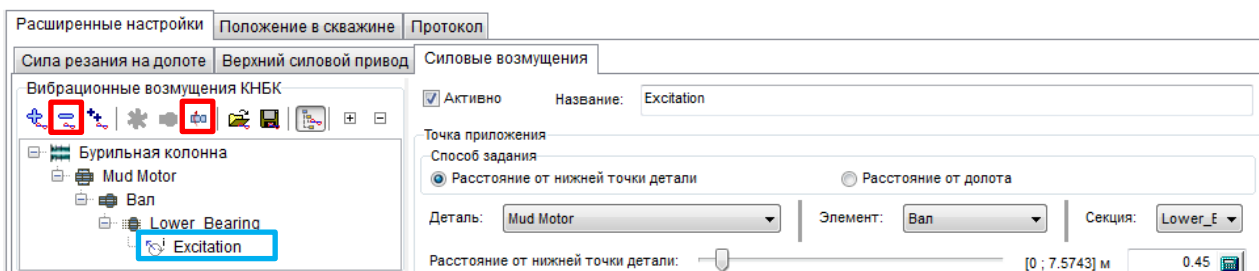
Шаг 6.29. Выберите **Тип долота** – **PDC долото**.




Шаг 6.30. Задаем числовые параметры операции:

Параметр	Значение
Операционные параметры	
Нагрузка на долото	45 кН
Скорость вращения	0 об/мин
Настройки моделирования	
Время моделирования	60 сек
Максимальное время	1200 сек
Отсечение по приросту длины ствола	1.524 м
Управляемые параметры	
ММ: скорость вращения	150 об/мин
Bend: Направление	0 град
Bend: Угол отклонения	2.5 град

Шаг 6.31. Компоновка колонны для текущего сценария отличается от компоновок первых двух сценариев; силовые возмущения, автоматически добавленные при копировании сценария, должны быть изменены. Перейдите на закладку **Расширенные настройки | Силовые возмущения** по кнопке , удалите все описанные возмущения  и добавьте возмущения для напорного двигателя .



Шаг 6.32. Нажмите кнопку **Проверить сценарий**  главного меню для проверки корректности описания сценария.

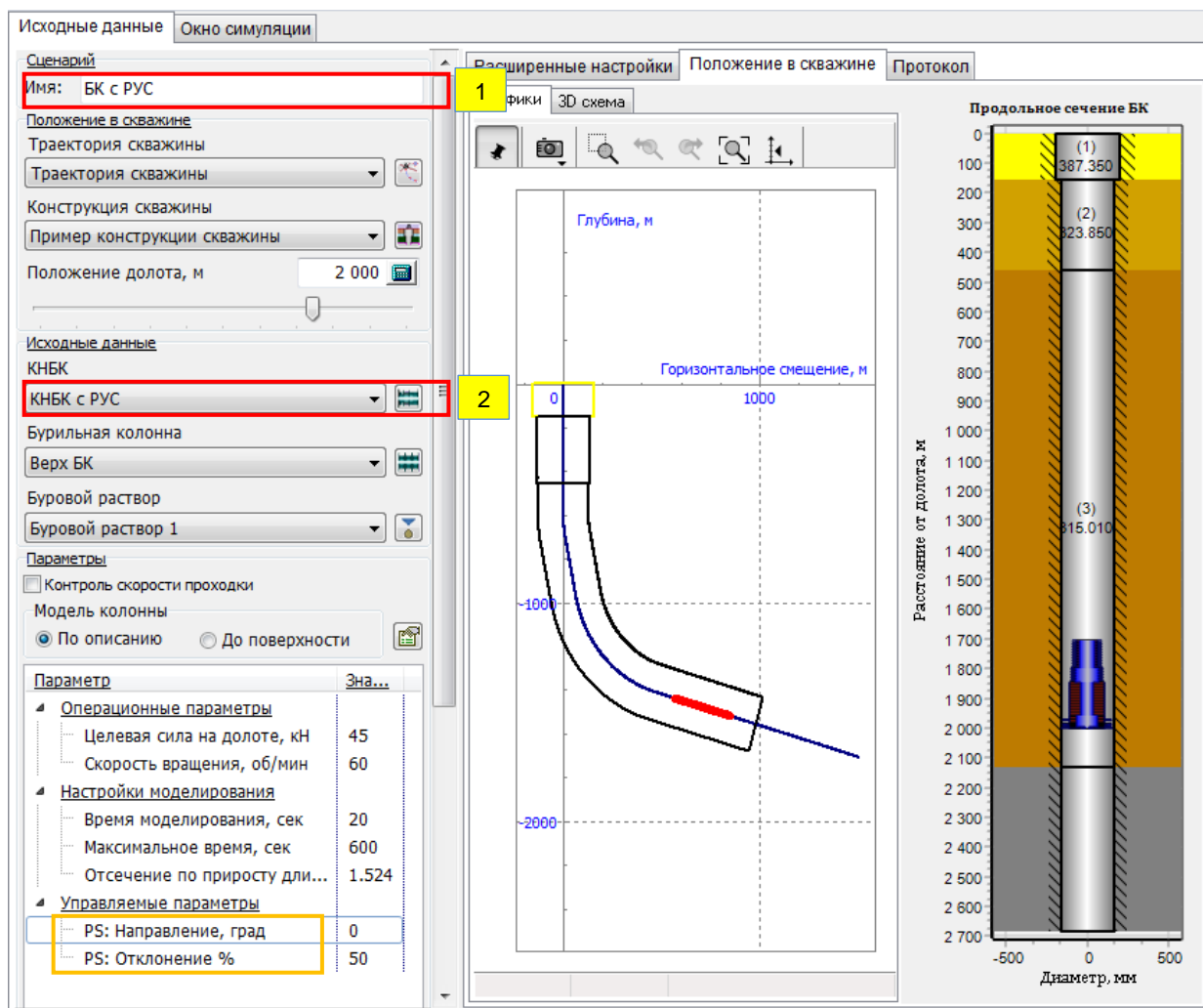
Шаг 6.33. Сохраните проект.

2.5.2.3. Описание сценария БК с РУС

Шаг 6.34. Выберите сценарий **БК с напорным двигателем** в дереве навигации проекта и создайте его копию (Создать копию сценария).

Шаг 6.35. Переименуйте добавленный сценарий в **БК с РУС**.

Шаг 6.36. Выберите **КНБК с РУС** из списка компоновок нижней части колонны.



Обратите внимание, что список параметров сценария изменился – в списке появилась группа *Управляемые параметры*, включающая два управляемых параметра модели РУС: **Направление, град** и **Отклонение, %** (см. Раздел 2.2.3.3.1). Пользователь может варьировать эти параметры без модификации описания компоновки.

Шаг 6.37. Выберите **Тип долота** – **PDC долото**.




Тип долота


PDC долото
 Модель Tucker-Wang

Шарошечное долото
 Модель Стрибека

Шаг 6.38. Задайте числовые параметры операции:

Параметр	Значение
Операционные параметры	
Нагрузка на долото	45 кН
Скорость вращения	60 об/мин
Настройки моделирования	
Время моделирования	20 сек
Максимальное время	1000 сек
Отсечение по приросту длины ствола	1.524 м
Управляемые параметры	
PS: Направление	0 град
PS: Отклонение	50 %

Шаг 6.39. Перейдите на закладку **Расширенные настройки | Силовые возмущения** по кнопке , удалите все описанные возмущения  и добавьте возмущения для стабилизаторов .

Шаг 6.40. Нажмите кнопку **Проверить сценарий**  главного меню для проверки корректности описания сценария.

Шаг 6.41. Сохраните проект.

Подготовка сценариев для иллюстрации функционала **Анализа динамики колонны** завершена.

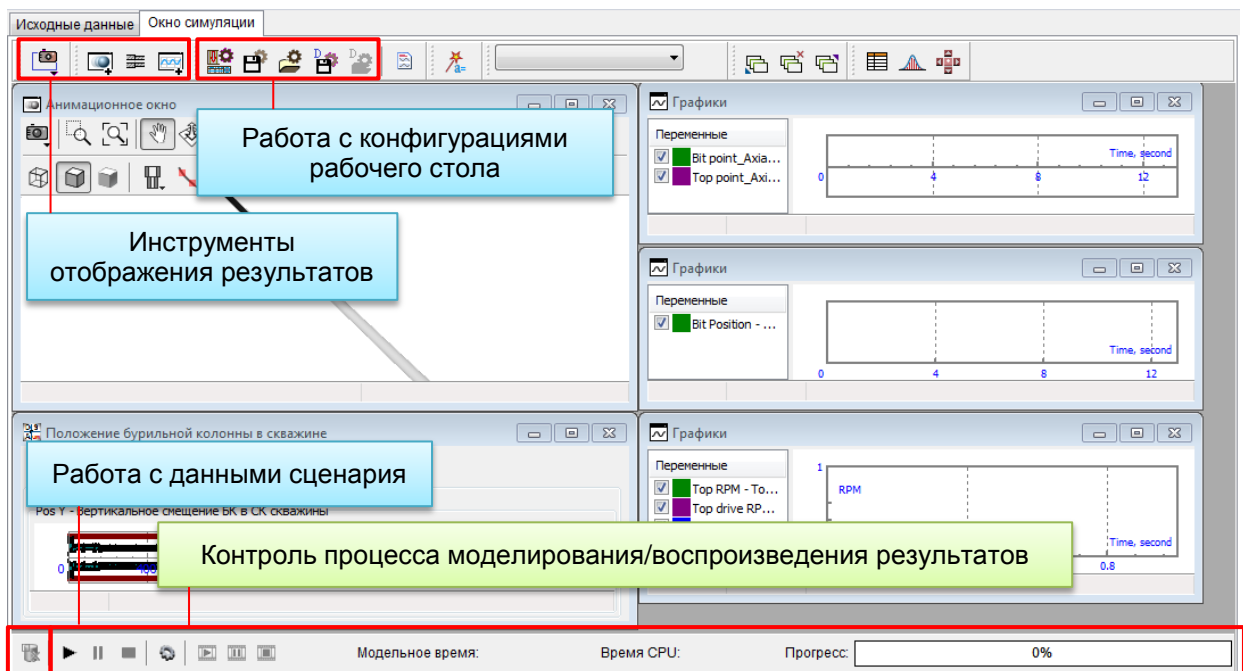
2.5.3. Расчет сценария в Окне симуляции

Приложение DSA позволяет выполнять *Анализ динамики колонны* в двух режимах: интерактивный расчет сценария в *Окне симуляции* и расчет множества сценариев в «тихом» режиме. В данном разделе приводится пошаговое описание процедуры расчета сценария с использованием *Окна симуляции*.

Внимание! Для инициализации *Окна симуляции* используются внутренние файлы динамической модели; для отображения интерфейса воспользуйтесь командой *Создать модель* для выбранного сценария.

Интерфейс Окна симуляции

Окно симуляции представляет собой набор инструментов для контроля процесса моделирования движения компоновки в скважине, анимации движения модели и визуального представления ее кинематических и силовых характеристик, воспроизведения результатов расчета, управлением параметрами модели в процессе расчета.



Работа со сценарием:

- очистить результаты расчета.

Контроль процесса моделирования/воспроизведения результатов:

- запустить или продолжить процесс моделирования;
- приостановить процесс моделирования;
- остановить расчет и очистить графики результатов.
- начать воспроизведение результатов;
- приостановить воспроизведение результатов;

- остановить воспроизведение результатов.

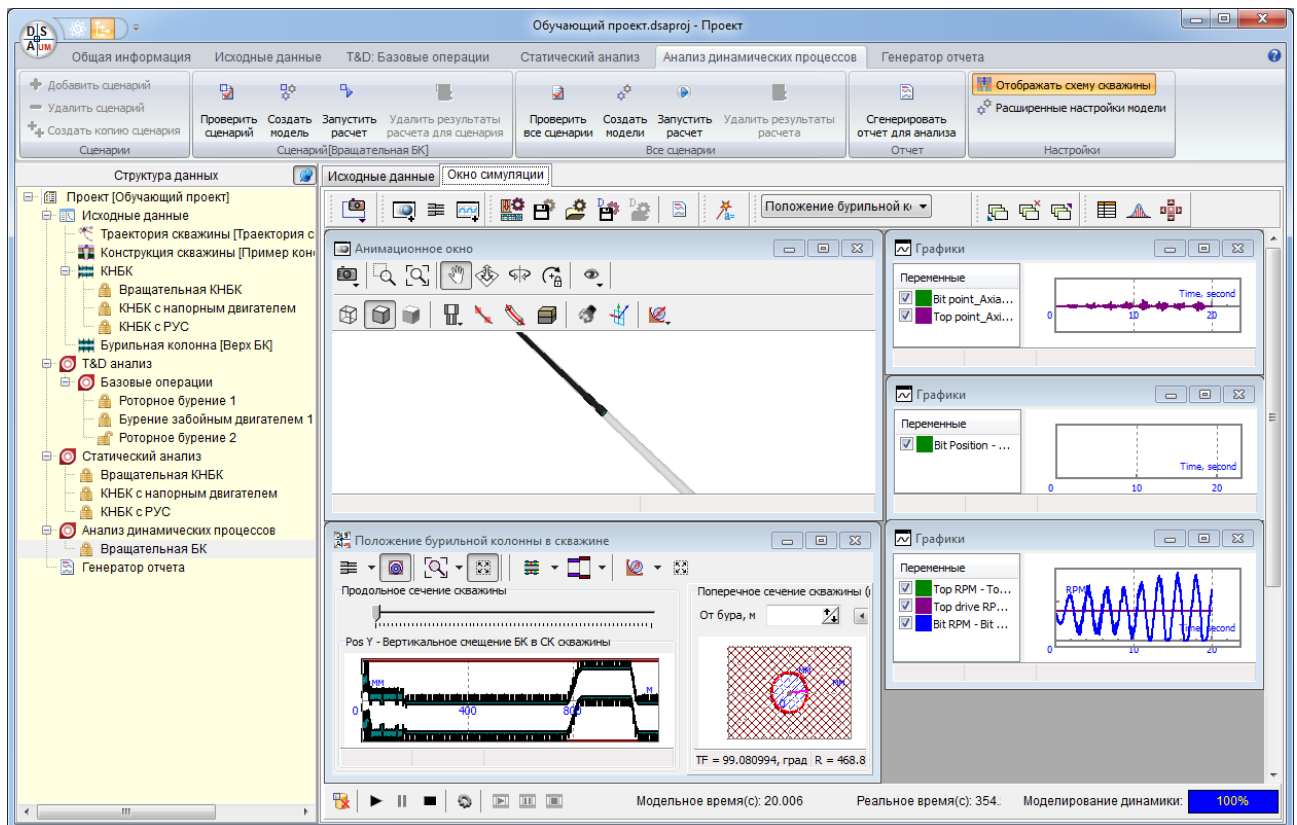
Представление результатов в процессе моделирования/воспроизведения:

- добавить 3D анимационное окно;

- добавить окно с 2D сечением компоновки в скважине;

- добавить 2D график для отображения зависимости переменных модели от времени;

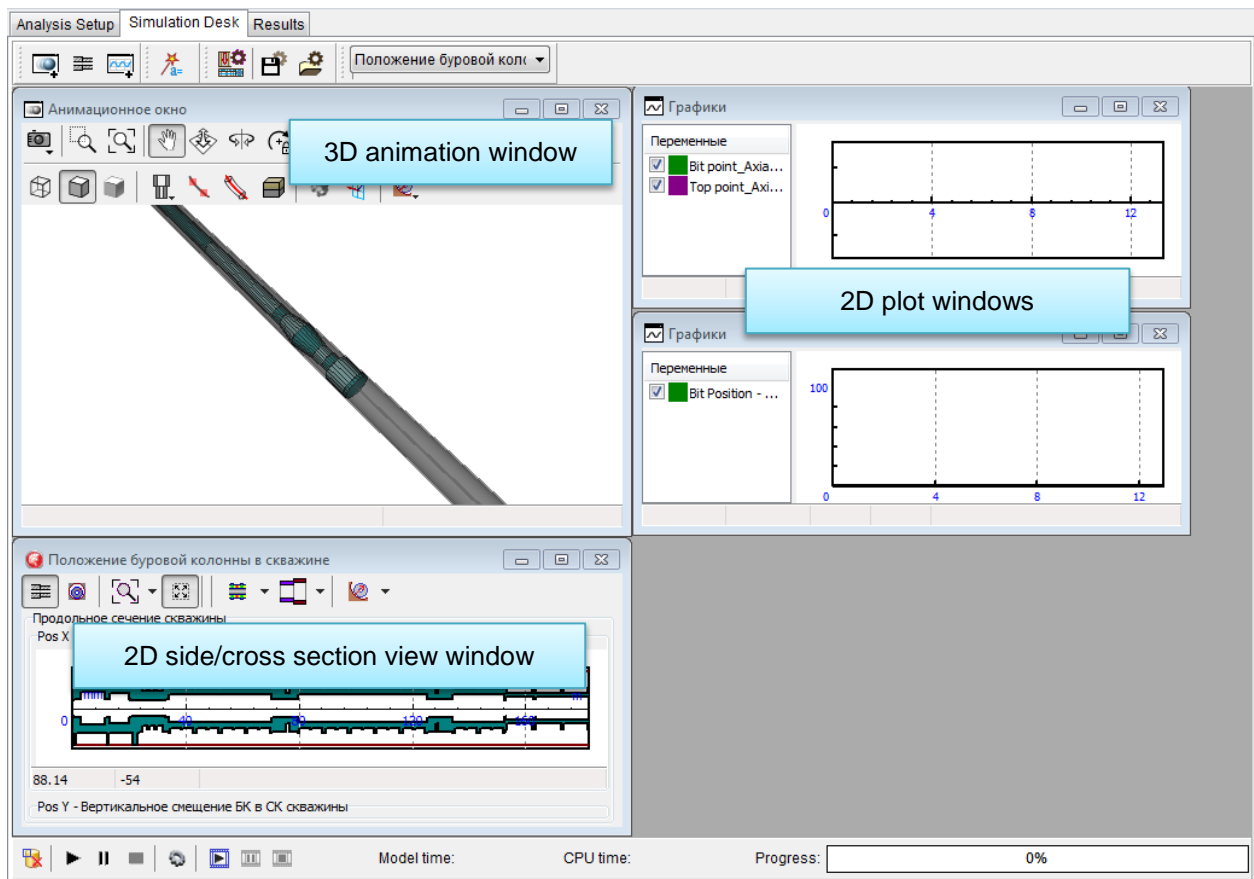
- показать/скрыть *Мастер переменных*.



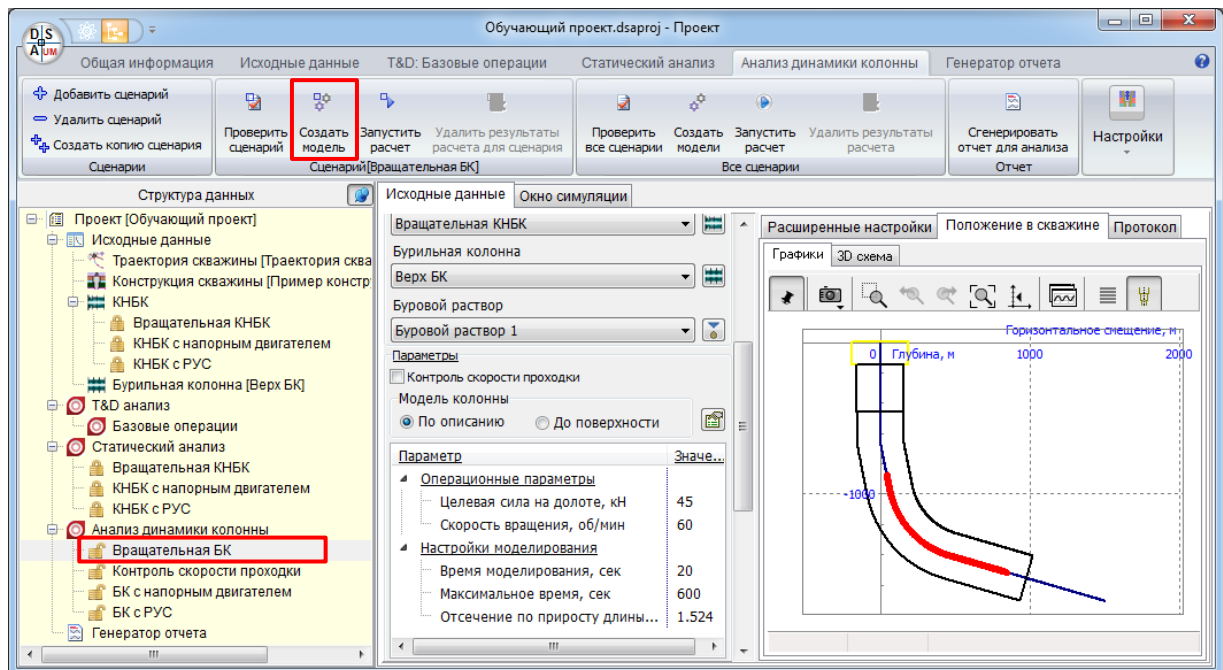
Инструменты быстрой настройки рабочего стола позволят загрузить конфигурацию по умолчанию (предустановленную), сохранить созданную конфигурацию в файл и загрузить ранее сохраненную ; а также создавать и использовать локальную конфигурацию по умолчанию.

Предустановленная конфигурация по умолчанию включает:

- 3D анимационное окно;
- Окно продольного/поперечного сечения компоновки в спрямленной скважине;
- Два графических окна, с зависимостями *Положения долота* и *Продольных ускорений* нижней и верхней частей компоновки от времени.



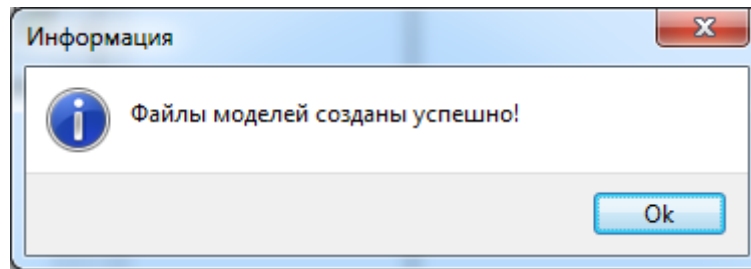
Шаг 6.42. Выберите сценарий *Вращательная БК* в дереве проекта и нажмите кнопку **Создать модель** главного меню анализа.



Примечание

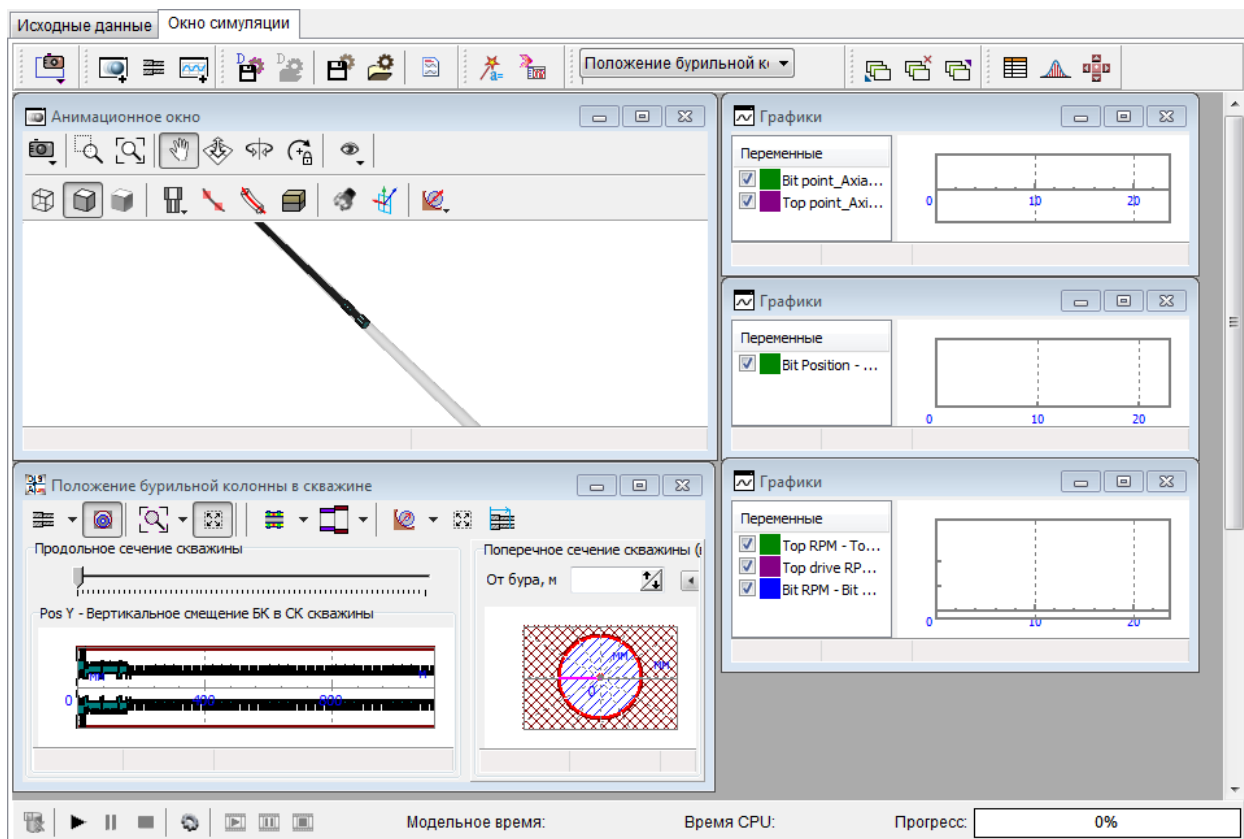
Перед созданием файлов модели автоматически выполняется проверка корректности описания исходных данных.

При успешном создании файлов модели появится сообщение.

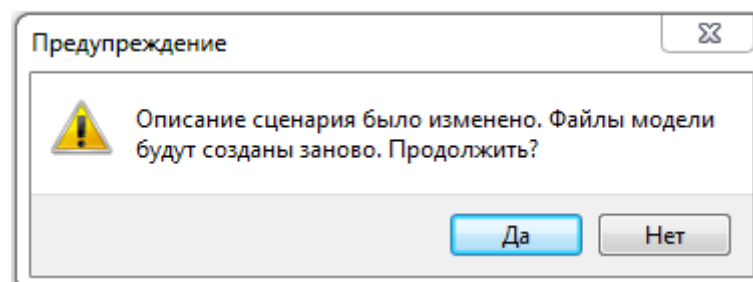


Теперь модель готова к загрузке/ запуску в интерфейсе *Окно симуляции*.

Шаг 6.43. Перейдите на закладку **Окно симуляции** правой панели.



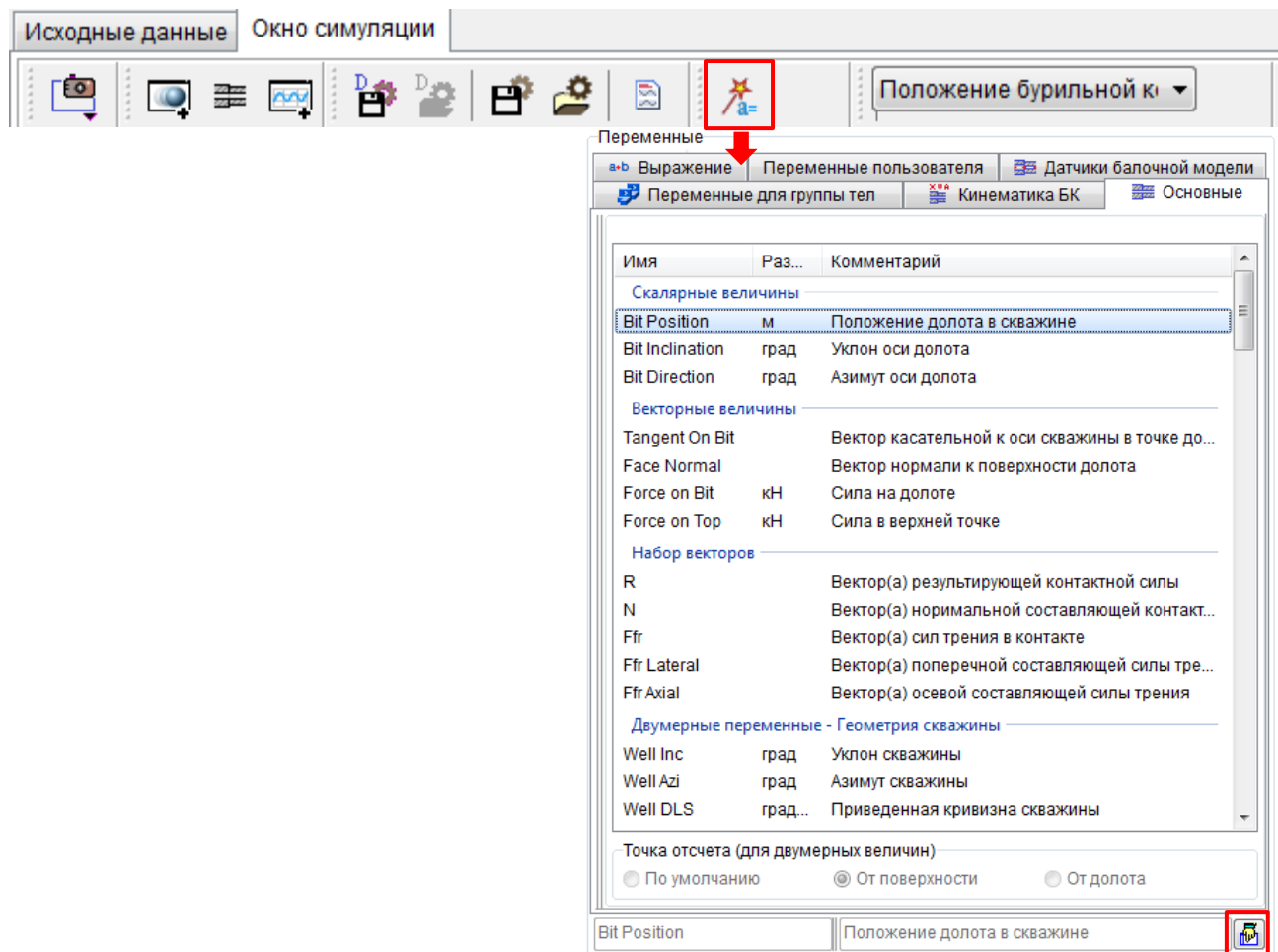
Примечание: Если настройки сценария изменились с момента создания файлов модели, при переходе на закладку *Окно симуляции* автоматически формируется запрос на обновление модели.




При отказе от обновления запрос будет повторен при попытке запуска расчета.

2.5.3.1. Мастер переменных

Шаг 6.44. Нажмите кнопку для отображения окна *Мастера переменных*.




Мастер переменных представляет собой окно со списком доступных для отображения переменных различных типов, сгруппированных на нескольких вкладках.


Для добавления нового графического окна с выбранной переменной нажмите кнопку  в нижнем правом углу окна *Мастера переменных*.


Для отображения результатов моделирования динамики колонны доступны следующие типы переменных:

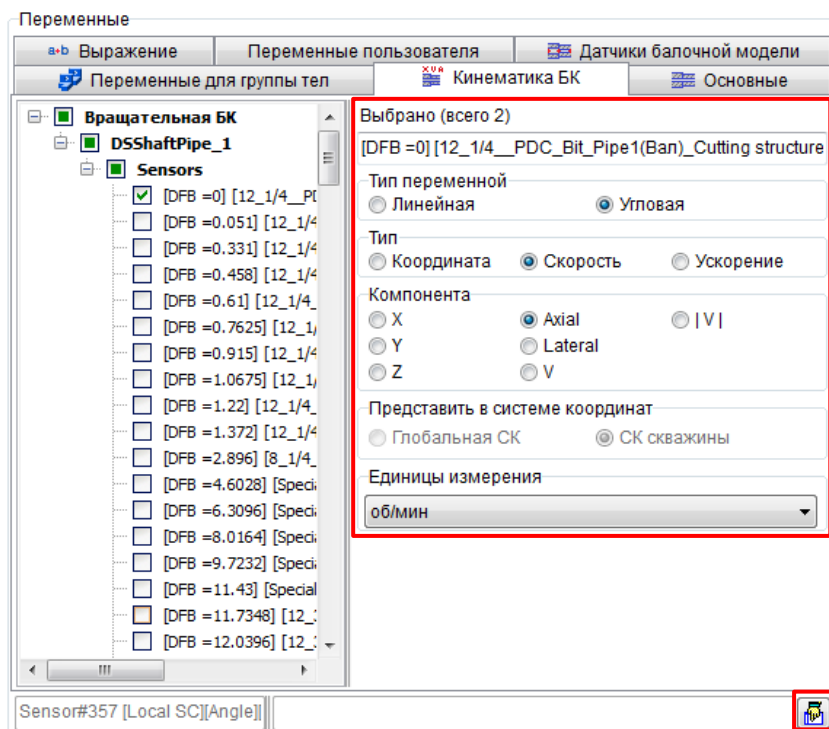
- Скалярные переменные (Bit position, Inc, Direction и т.д.) отображаются в графических окнах как функции времени¹;
- Векторные переменные, наборы векторов (Tangent on bit, Ffr, Axial и т.д.) отображаются в анимационных окнах.
- Двумерные переменные (Well Inc, MBend и т.д.) применяются для отображение распределения величин вдоль скважины или колонны.

¹ Пользователь может выбрать в качестве абсциссы графика в окне любую другую скалярную переменную.

Шаг 6.45. Выберите закладку «Основные», выделите переменную ‘Force on bit’ в группе ‘Векторные переменные’ и нажмите кнопку добавить . Вектор силы на долоте будет отображаться в анимационном окне.

Шаг 6.46. На закладке «Основные» выберите ‘PosX’ из группы ‘Двумерные переменные – Положение БК в скважине’ и нажмите кнопку добавить . Переменная – значения смещений точек колонны в горизонтальной плоскости (в СК скважины) вдоль оси колонны – будет добавлена в новое графическое окно.

Шаг 6.47. Выберите закладку ‘Кинематика БК’, в дереве слева выберите первый и последний датчики – затем установите настройки как показано на рисунке ниже. При нажатии на кнопку  добавится графическое окно с двумя скалярными переменными – зависимость угловой скорости вращения долота и верхней точки БК от времени.



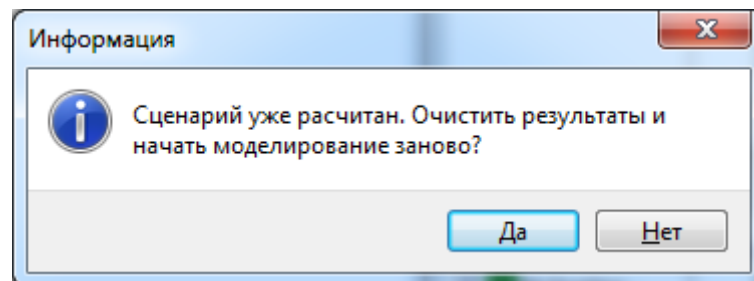
Шаг 6.48. Выберите закладку ‘Датчики балочной модели’, для первого датчика модели (долото) создайте переменную ‘Qz’ – зависимость осевой силы на долоте от времени.

Шаг 6.49. При необходимости расположите графические и анимационные окна в окне симуляции по своему усмотрению.

2.5.3.2. Процедура расчета

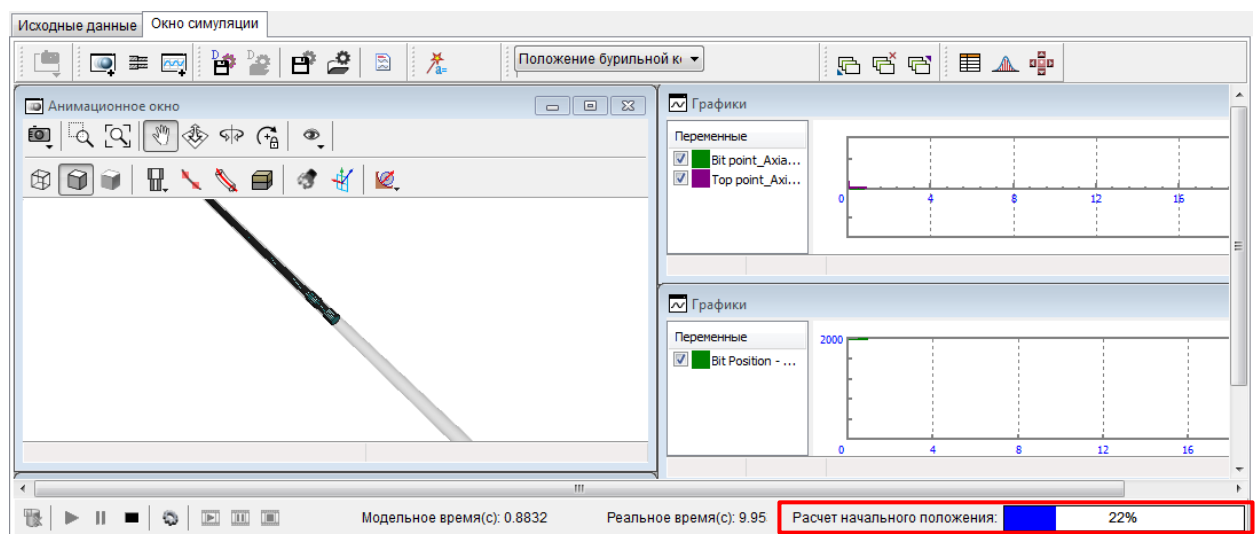
Шаг 6.50. Нажмите кнопку **Запустить/Продолжить расчет**

Внимание: Если сценарий ранее был рассчитан (существуют ранее сохраненные результаты), появится запрос на продолжение запуска (существующие результаты будут автоматически удалены).



Нажмите **Да** для продолжения.

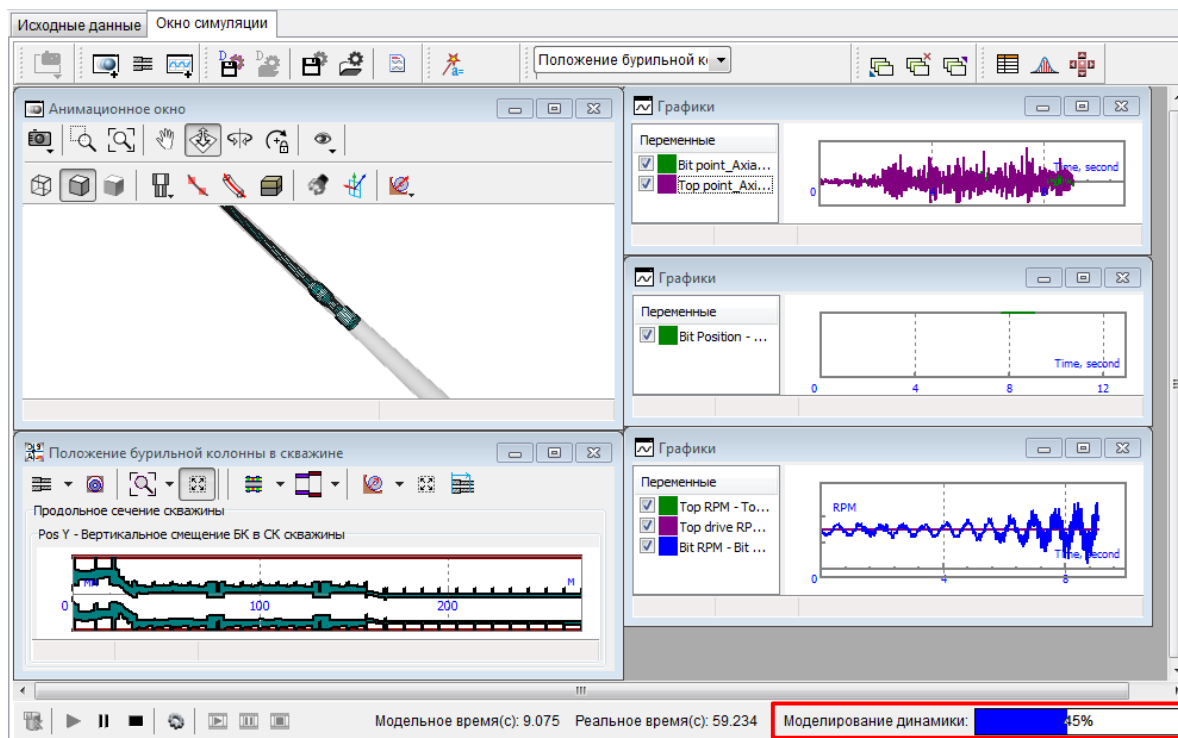
На первом этапе моделирования выполняется расчет начального положения – расчет положения равновесия модели для заданных граничных условий, о чем свидетельствует комментарий на индикаторе выполнения расчета. По умолчанию на расчет начального положения на шкале индикатора выполнения отводится 30%.



Замечание 1. Движение модели отображается в интерфейсе, но не сохраняется для последующего воспроизведения.

Замечание 2: Если сценарий ранее был рассчитан и перезапускается с неизменными граничными условиями, этап расчета начального положения модели будет пропущен – все данные будут взяты из ранее сохраненных результатов.

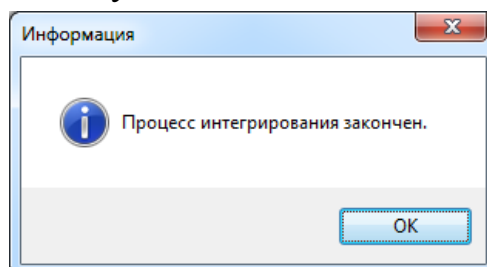
После расчета начального положения запускается режим **Моделирования динамики** движения компоновки согласно настройкам сценария. Текущее положение модели компоновки отображается в анимационном окне и окне продольно сечения колонны, строятся графики переменных, добавленных в графические окна.



Примечание

При необходимости для ускорения расчета рекомендуется свернуть окна анимации движения компоновки; визуализация движения доступна в режиме воспроизведения расчета (см. Раздел 2.5.3.3).

По завершению процесса моделирования (расчет заданного интервала, либо превышение предельного времени на расчет, либо предельный прирост длины ствола) отображается соответствующее сообщение.



Замечание: Критерий остановки моделирования по превышению времени расчета применяется только для этапа **Моделирование динамики**.

Шаг 6.51. Нажмите **Ок** для закрытия окна сообщения.

Графики переменных и окна отображения положения компоновки остаются неизменными, что позволяет предварительно анализировать полученные результаты с помощью **Процессора переменных** и инструмента **Статистика**.

Нажмите для открытия окна инструмента **Табличный процессор**

Перетащите переменные в окно **Табличного процессора**

Выберите функционалы для добавления в таблицу значений для переменных

	Std_Dev	Mean	Max	Min
Bit point_Axial_GForc	0.34446845	0.00017413	1.4245929	-1.6792264
Top point_Axial_GFor	0.85346619	0.00093718	4.2126212	-2.9007854

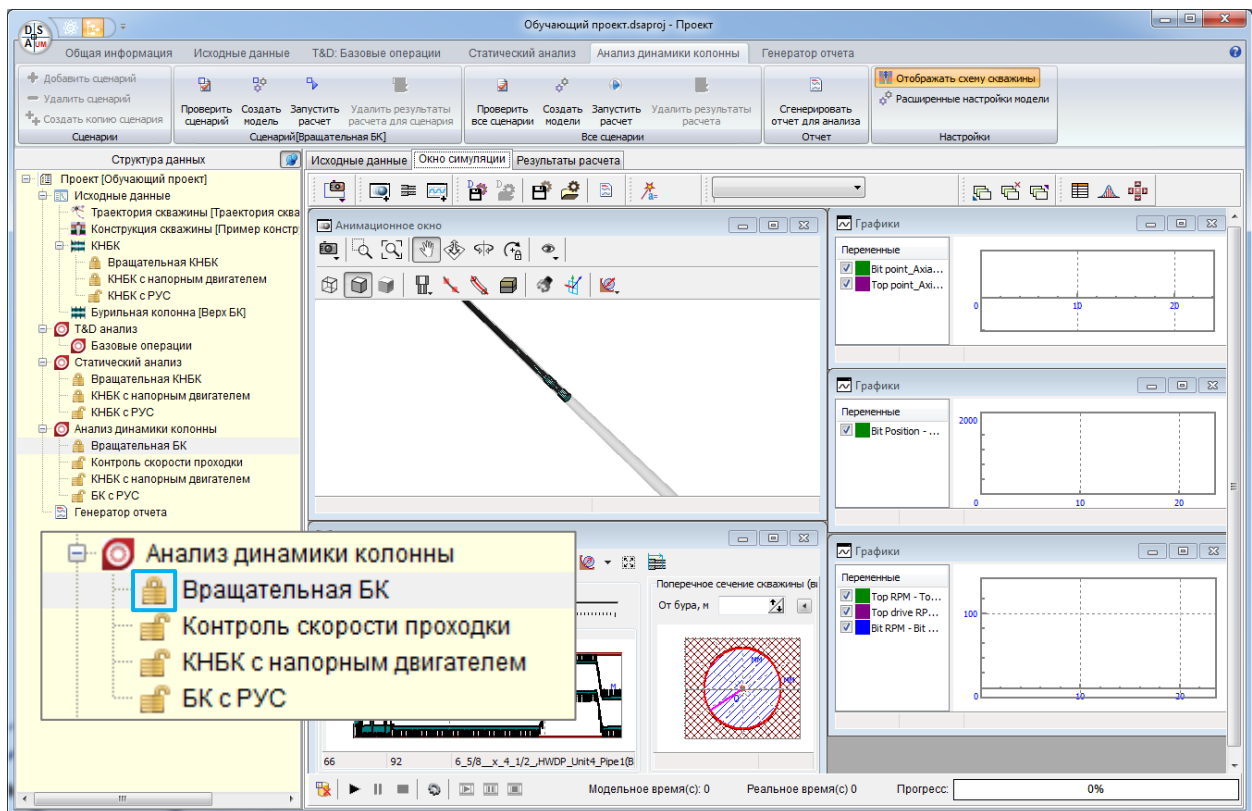
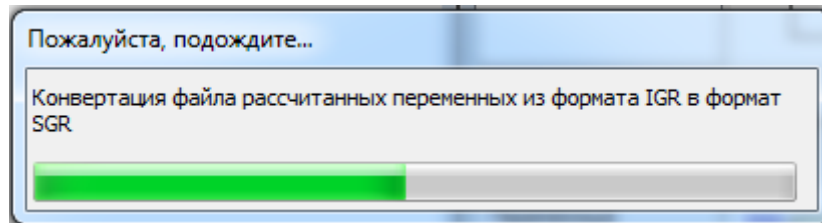
Нажмите для открытия окна инструмента **Статистика**

Перетащите переменные в окно **Статистика** для расчета характеристик переменной(ых)

Переменные	Размер выборки	Среднее		СКО	Min	Max
		Среднее	СКО			
Bit point_Axial_G...	1563	-0.0001119328	0.3445445	-1.679227	1.424594	
Top point_Axial_...	1563	0.0008970845	0.8531944	-2.90079	4.212622	

Шаг 6.52. Нажмите кнопку  для завершения расчета сценария.

Графики результатов в окне моделирования очищаются, рассчитанные результаты сохраняются на жесткий диск компьютера для последующего анализа; изменяется иконка сценария в дереве проекта.



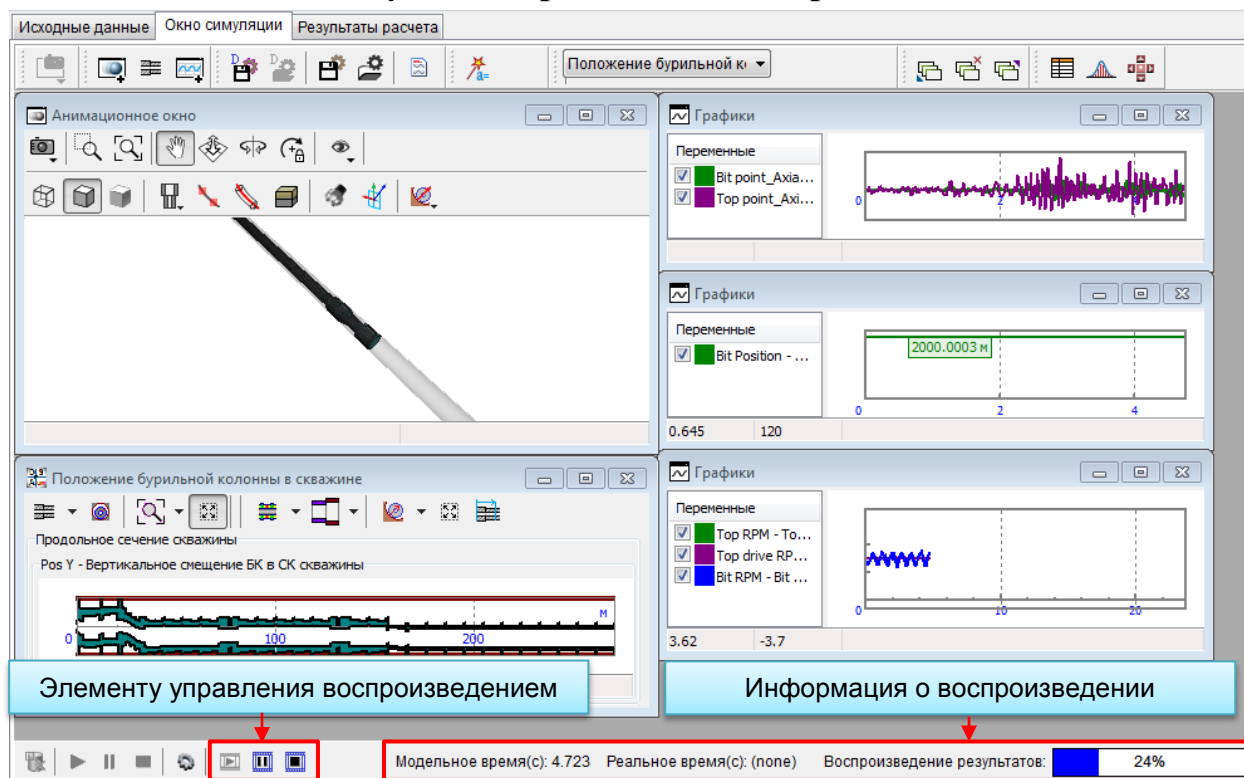
2.5.3.3. Воспроизведение расчета в Окне Симуляции

Рассчитанный сценарий может быть воспроизведен в Окне симуляции. При воспроизведении не производится численное интегрирование уравнений движения модели – расчет положения модели в скважине, вычисление переменных и векторов происходит на основании записей кинематических характеристик движения, автоматически сохраняемых во время расчета сценария.

Внимание: Значения некоторых переменных – относящихся к нелинейным силам с историей – не могут быть восстановлены по записям кинематических характеристик; в режиме воспроизведения эти переменные могут иметь нулевые значения. Для получения этих записей необходимо перезапустить интегрирование, либо воспользоваться инструментами на страницах **Результаты | Переменные, Результаты | Графики**.

Управление воспроизведением производится с помощью кнопок, расположенных правее элементов управления процессом интегрирования.

Шаг 6.53. Нажмите **Запустить/Продолжить воспроизведение**



Текущий момент воспроизводимой записи отображается на шкале прогресса **‘Воспроизведение результатов’**.


Внимание: Во время воспроизведения элементы управления моделированием блокируются; для изменения параметров сценария или шага вывода результатов необходимо перезапустить расчет сценария.



Запись движения компоновки отображается в анимационных окнах и окне продольного сечения колонны. Пользователь может добавить новые графики/переменные для отображения во время воспроизведения через Мастер переменных.

Шаг 6.54. Поставьте воспроизведение записи на паузу (кнопка ).

Отображаемые результаты доступны в режиме паузы; пользователь может настроить отображаемые результаты и продолжить воспроизведение либо прервать его.

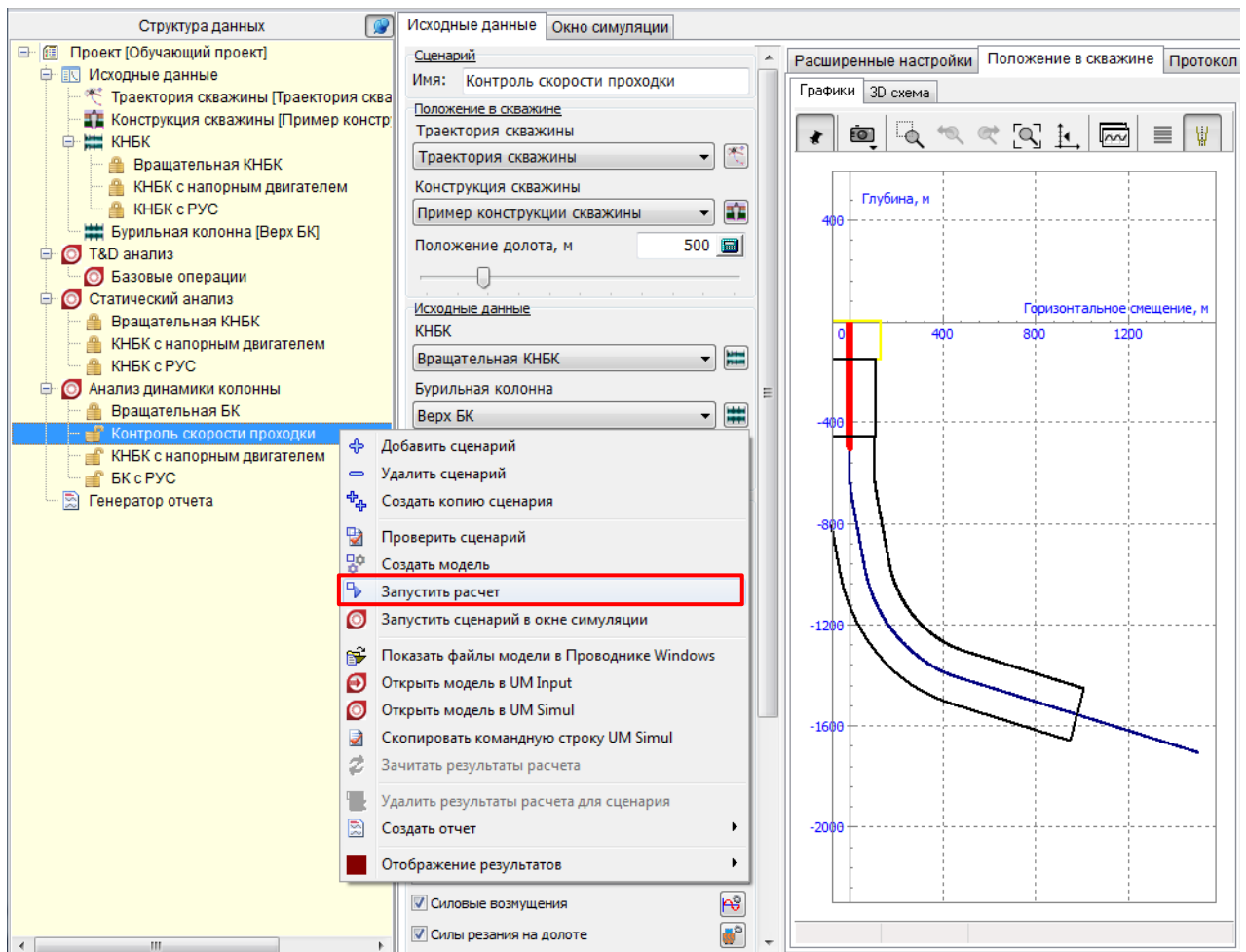
Шаг 6.55. Остановите воспроизведение (кнопка ). Отображаемые результаты будут очищены, модель вернется в исходное положение (на начало записи).

Внимание: По достижению конца записи процесс автоматически ставится на паузу. Для завершения воспроизведения необходимо остановить его вручную.

2.5.4. Расчет в «тихом» режиме

Приложение DSA позволяет выполнять *Анализ динамики колонны* в двух режимах: интерактивный расчет сценария в *Окне симуляции* и расчет одного или всех сценариев в «тихом» режиме. В данном разделе приводится пошаговое описание процедуры расчета одного сценария в «тихом» режиме.

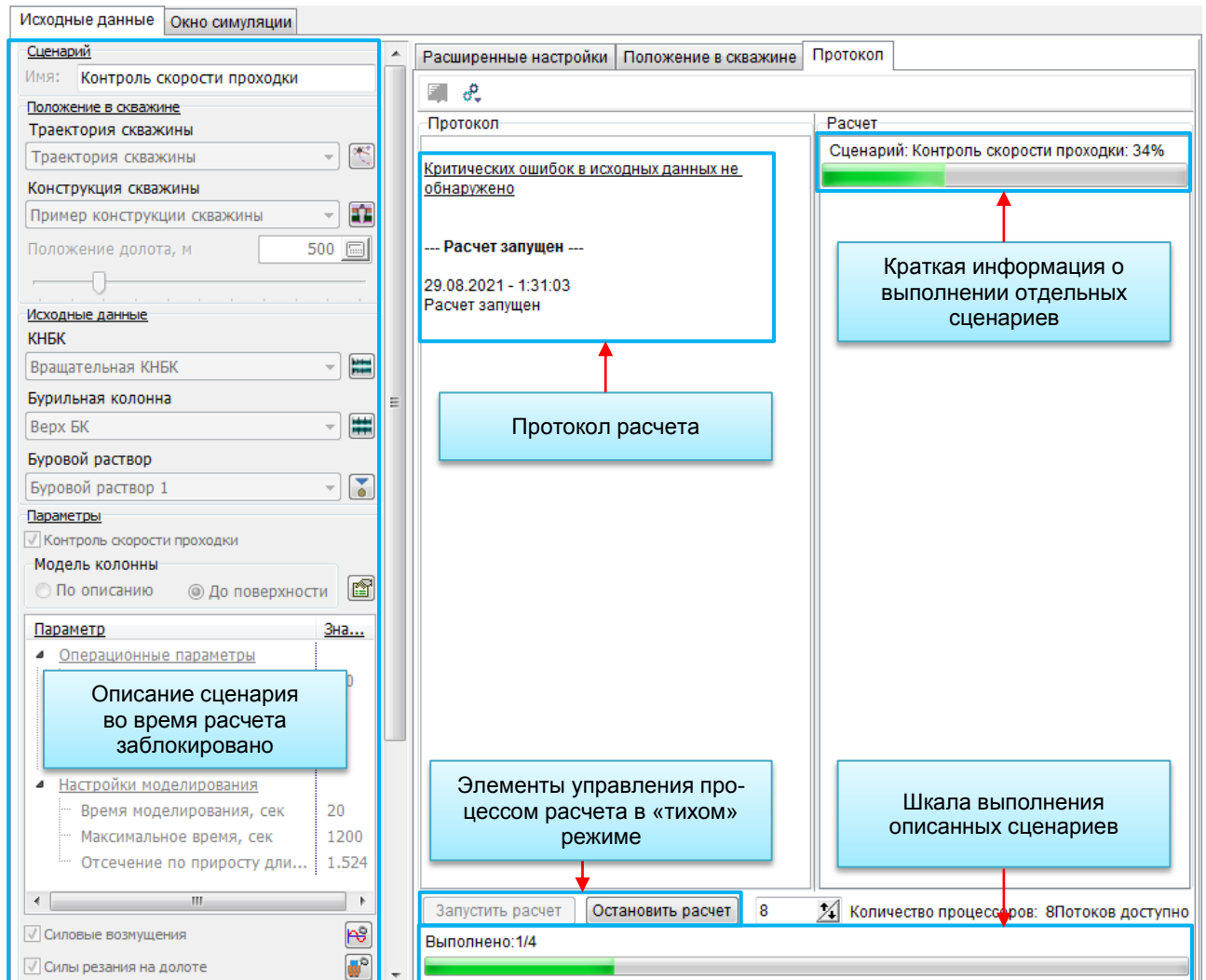
Шаг 6.56. Выберите в дереве проекта сценарий **Контроль скорости проходки** и запустите его выполнение в «тихом» режиме через контекстное меню.



Примечание: При запуске расчета файл проекта автоматически сохраняется, происходит проверка корректности описания выбранного сценария(ев). Во время расчета изменение исходных данных сценария блокируется.

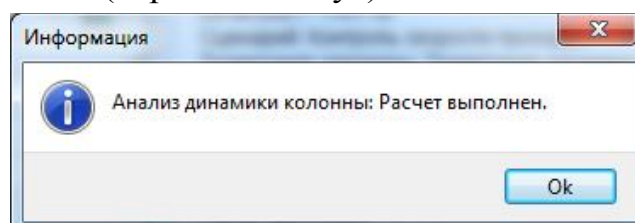
При запуске расчета автоматически откроется закладка **Исходные данные** | **Протокол**. В нижней части правой панели отобразится информация о количестве рассчитанных сценариев («**Выполнено: 1/4**»), а также шкала прогресса выполнения расчета (100% соответствует расчету всех сценариев анализа).

В протоколе отображается краткая информация о запущенном расчете. На правой панели отображается информация о рассчитываемых сценариях – название и прогресс выполнения. Пользователь может выбрать число параллельных расчетов – число одновременно рассчитываемых сценариев.



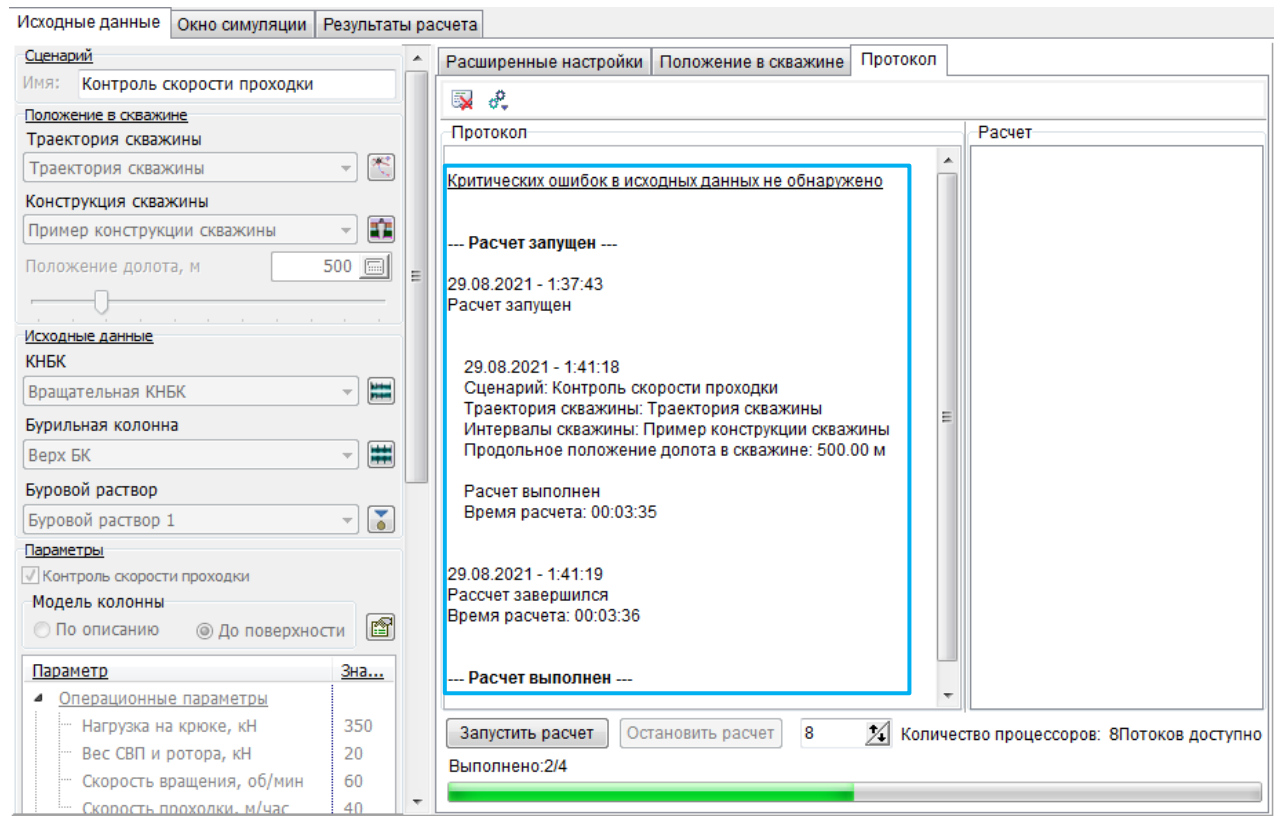
Кнопка **Запустить расчет** запускает расчет всех сценариев анализа, кнопка **Остановить расчет** – прерывает процедуру анализа.

По завершению расчета (через 3-5 минут) появится сообщение.



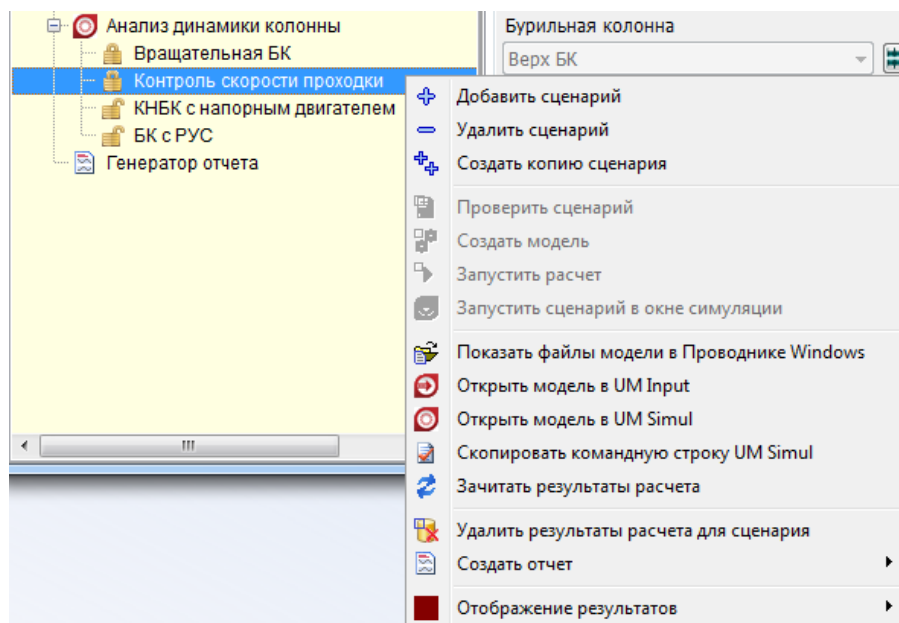
Шаг 6.57. Нажмите **Ok**, чтобы закрыть сообщение.

В протоколе анализа появится сводная информация о выполненном расчете.



Результаты моделирования сценария автоматически сохраняются в каталоге сценария на жестком диске; в дереве проекта рассчитанные сценарии отображаются иконкой

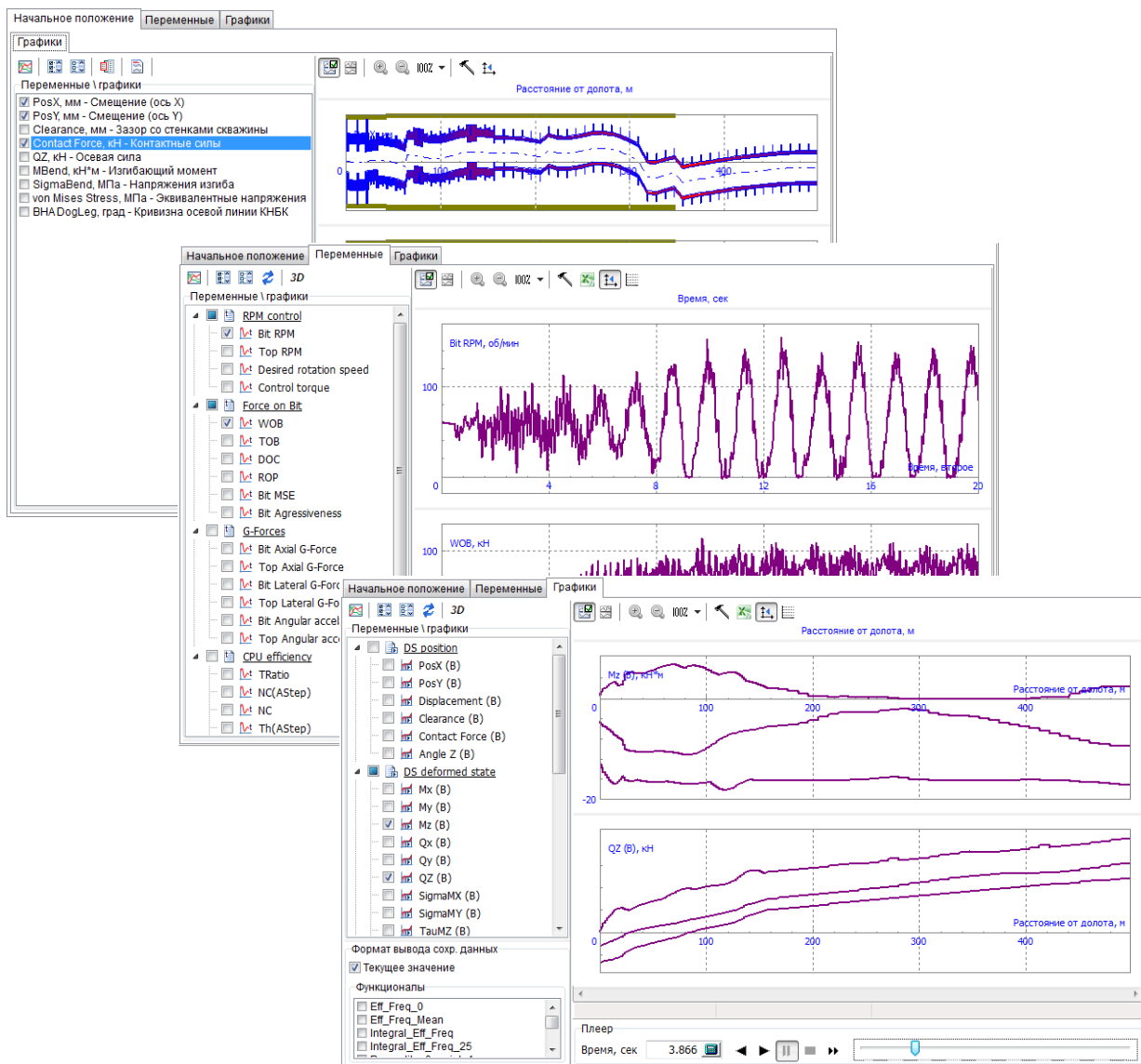
Обратите внимание, что описание рассчитанного сценария остается недоступным для редактирования. Для изменения исходных данных необходимо **Удалить результаты расчета для сценария** в контекстном меню дерева проекта или головном меню расчета.



2.5.5. Вывод результатов

В рамках приложения реализованы различные средства отображения результатов расчета – деформированного состояния компоновки в скважине, распределений контактных сил, внутренних силовых факторов и напряжений вдоль оси колонны:

- Графики: набор графиков – распределения контактных сил, внутренних силовых факторов и напряжений вдоль оси колонны вдоль оси компоновки – на момент начала моделирования динамики.
- Переменные: записи изменения кинематических характеристик, сил и напряжений в сечениях компоновки (от времени).
- Графики: записи распределений кинематических и силовых характеристик, параметров НДС компоновки во время моделирования (с возможностью воспроизведения).

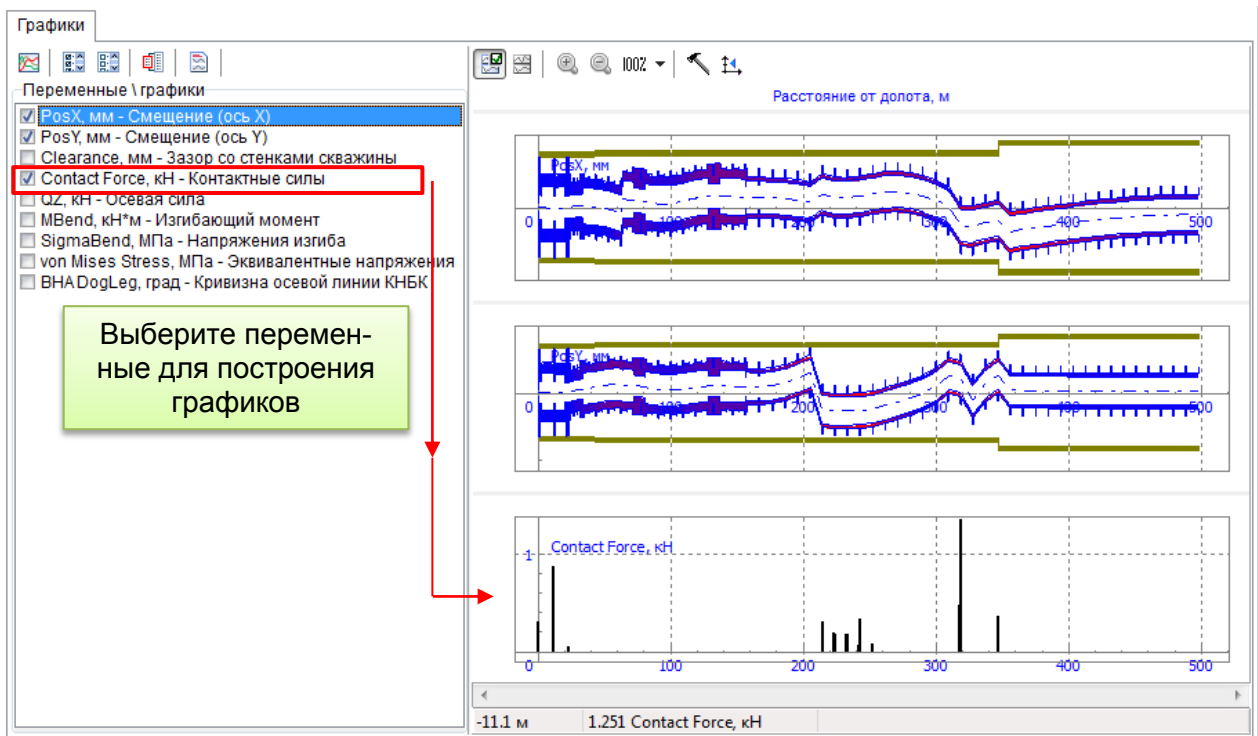


Шаг 6.58. Выберите закладку **Результаты**.

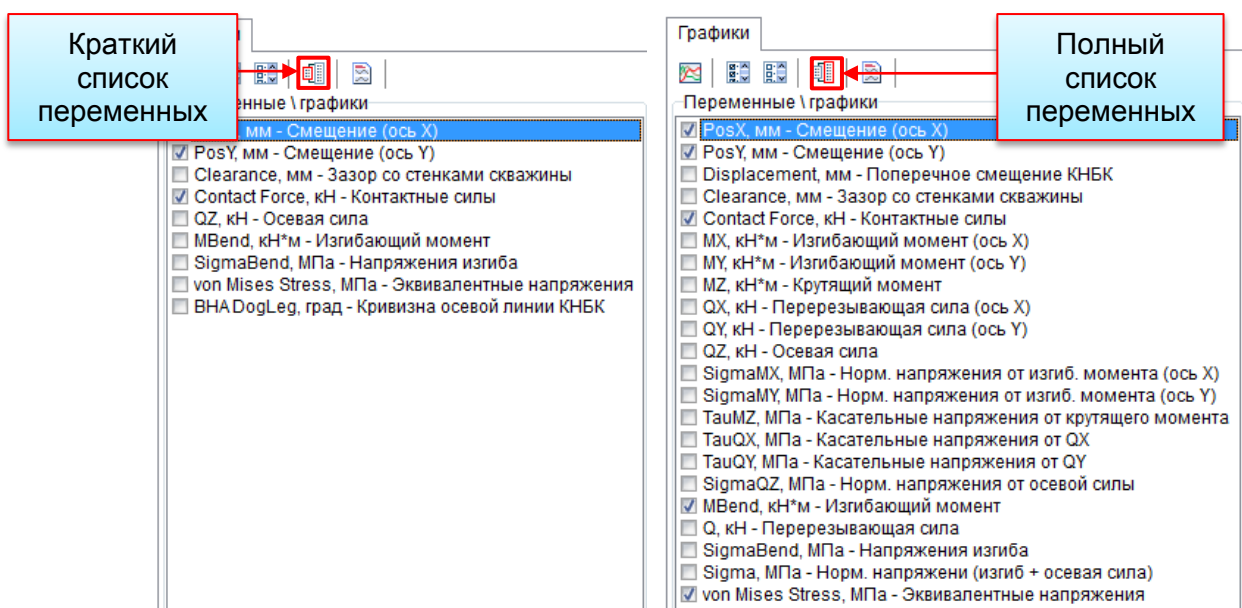
2.5.5.1. Начальное положение

Шаг 6.59. Перейдите на закладку **Результаты | Начальное положение**¹, чтобы оценить напряженно-деформированное состояние и граничные условия на начальный момент интегрирования движения компоновки.

На правой панели отображаются графики величин, отмеченных в списке **Переменные/ Графики**.

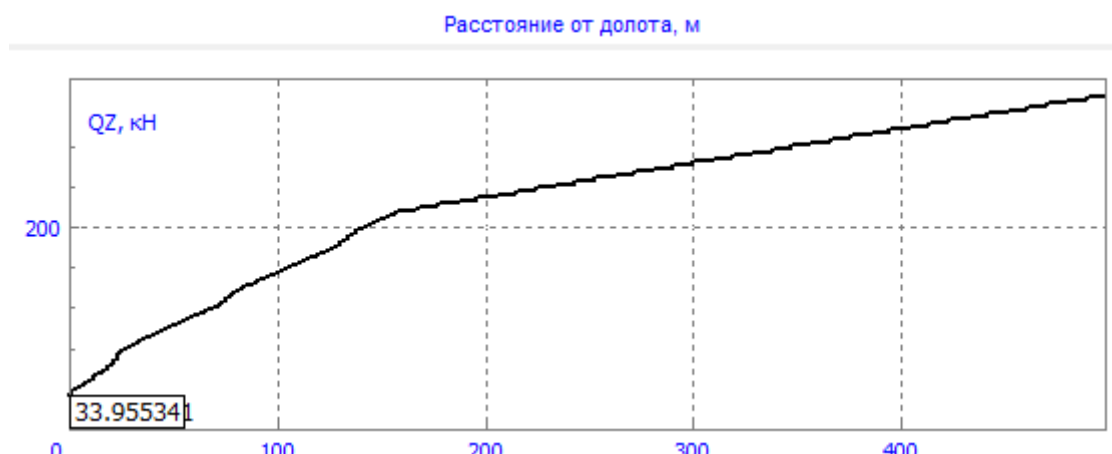


Шаг 6.60. Нажмите кнопку для переключения между кратким и полным списками результатов.



¹ Вкладка **Начальное положение** доступна, если конфигурация приложения включает **Статический анализ**

Шаг 6.61. Выберите график **Qz – Осевая сила**; проанализируем результаты.



На момент начала моделирования осевая сила на долоте имеет положительное значение (деталь растянута). Это означает, что сила, приложенная к верхней точке компоновки – **Нагрузка на крюке** за вычетом **Веса СВП и ротора** – превосходит вес компоновки в скважине, и она удерживается на заданной глубине за счет фиксации точки долота в скважине.

Параметр	Зна...
Операционные параметры	
Нагрузка на крюке, кН	350
Вес СВП и ротора, кН	20
Скорость вращения, об/мин	60
Скорость проходки, м/час	40

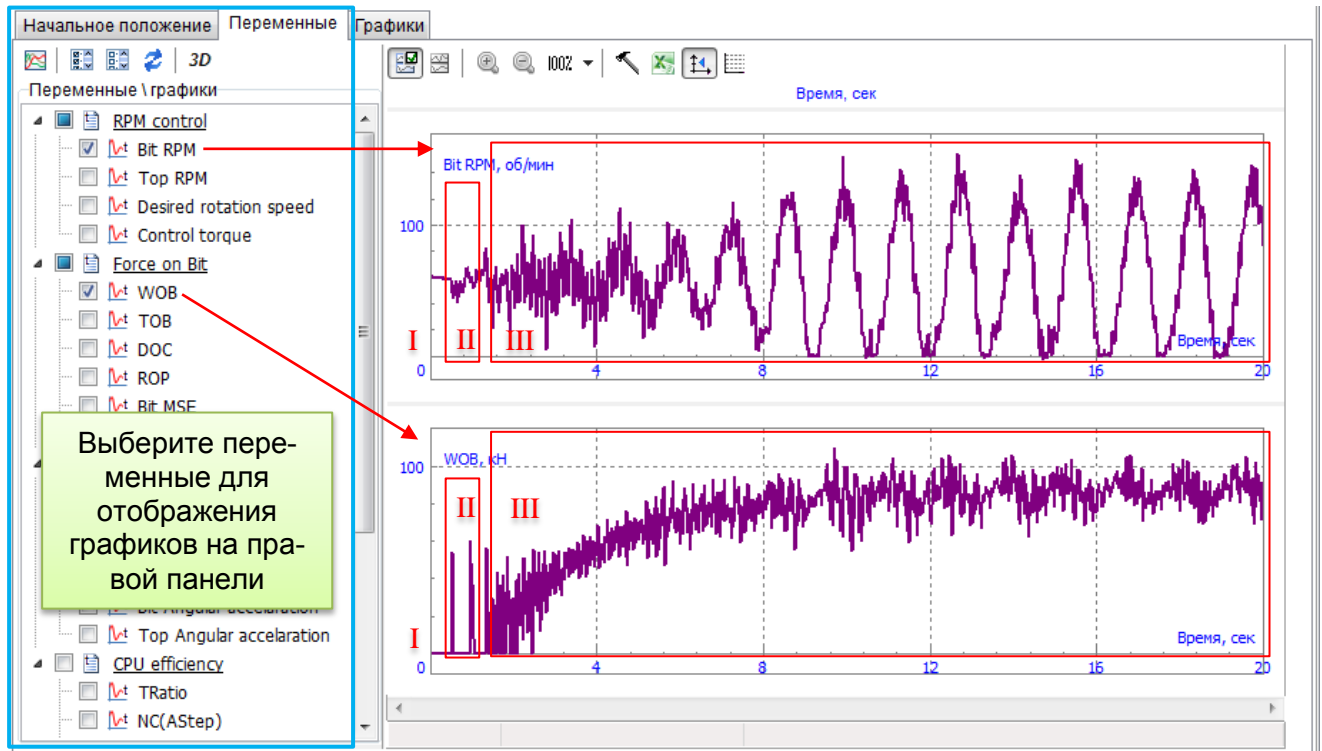
На этапе моделирования динамики фиксация долота заменяется силой резания на долоте, если сила в верхней точке задана постоянной – моделирование приведет к выводу компоновки из скважины.

Для выбранного сценария задан *Контроль скорости проходки* и задана скорость спуска верхней точки компоновки в скважину. Вследствие этого при запуске моделирования долото в скором времени войдет в контакт с забоем. Моделирование покажет процессы имеющие место при начале взаимодействия вращательной компоновки с забоем во время спуска колонны.

Шаг 6.62. Перейдите на закладку **Результаты | Переменные** для оценки зависимостей рассчитанных величин от времени.

На правой панели отображаются графики зависимостей величин, выбранных в списке слева, от времени.

Шаг 6.63. Выберите две величины – **Bit RPM – Скорость вращения долота** и **WOB – Сила на долоте (сжимающая)**



По выбранным графикам можно сделать следующие заключения об исследуемой ситуации (сценарии).

- I. В начальный момент времени долото не касается забоя, скорость вращения постоянна и равна скорости вращения верхнего сечения колонны.
- II. За счет ненулевой *Скорости проходки* верхняя точка компоновки опускается в скважину, и долото входит в контакт с забоем. Сначала возникают биения долота о забой (всплески силы на долоте, перемежающиеся нулевыми значениями), затем долото входит в постоянный контакт с забоем (сила на долоте не опускается до нулевого уровня). При вхождении в контакт с забоем момент сопротивления от сил резания приводит к осцилляциям скорости вращения долота.
- III. Сила на долоте возрастает до тех пор, пока скорость проходки – не оказывается равной заданной скорости спуска компоновки в скважину

2.5.5.3. Распределения

Шаг 6.64. Перейдите на закладку **Результаты | Графики** для анализа распределений смещений, внутренних сил и напряжений вдоль оси компоновки в различные моменты времени.

Список рассчитанных переменных отображается на левой панели, графики распределений выбранных величин вдоль компоновки – на правой. Интерфейс поддерживает отображение распределений для заданного момента времени (в поле **Время** или ползунком в поле **Плеер**) – **Текущее значение**, проигрывание записи, а также построение **Функционалов**.

Шаг 6.65. Выберите переменную **Qz(B) – Осевая сила**.

В начальный момент моделирования осевая сила на долоте равна нулю, вся компоновка растянута.

Выберите переменные для отображения на правой панели

График распределения выбранной величины вдоль компоновки для выбранного момента времени и выбранных функционалов.

Укажите формат отображения – Текущее значение и/или Функционалы

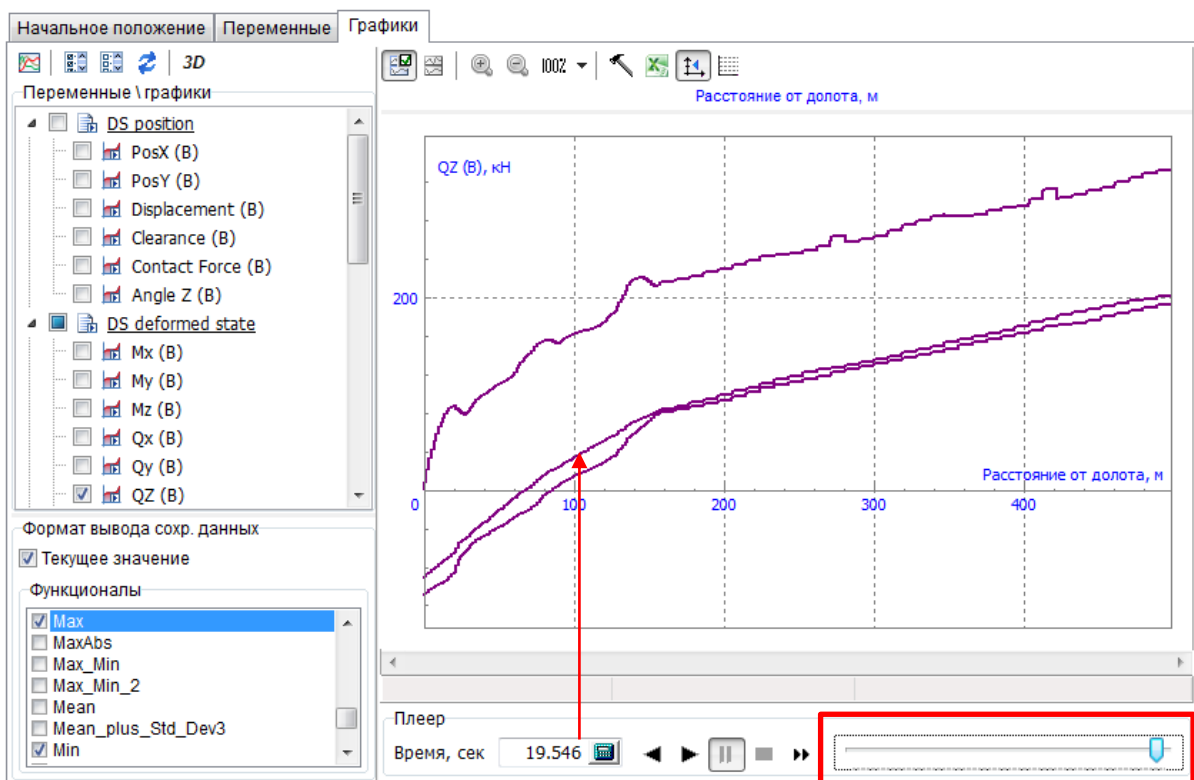
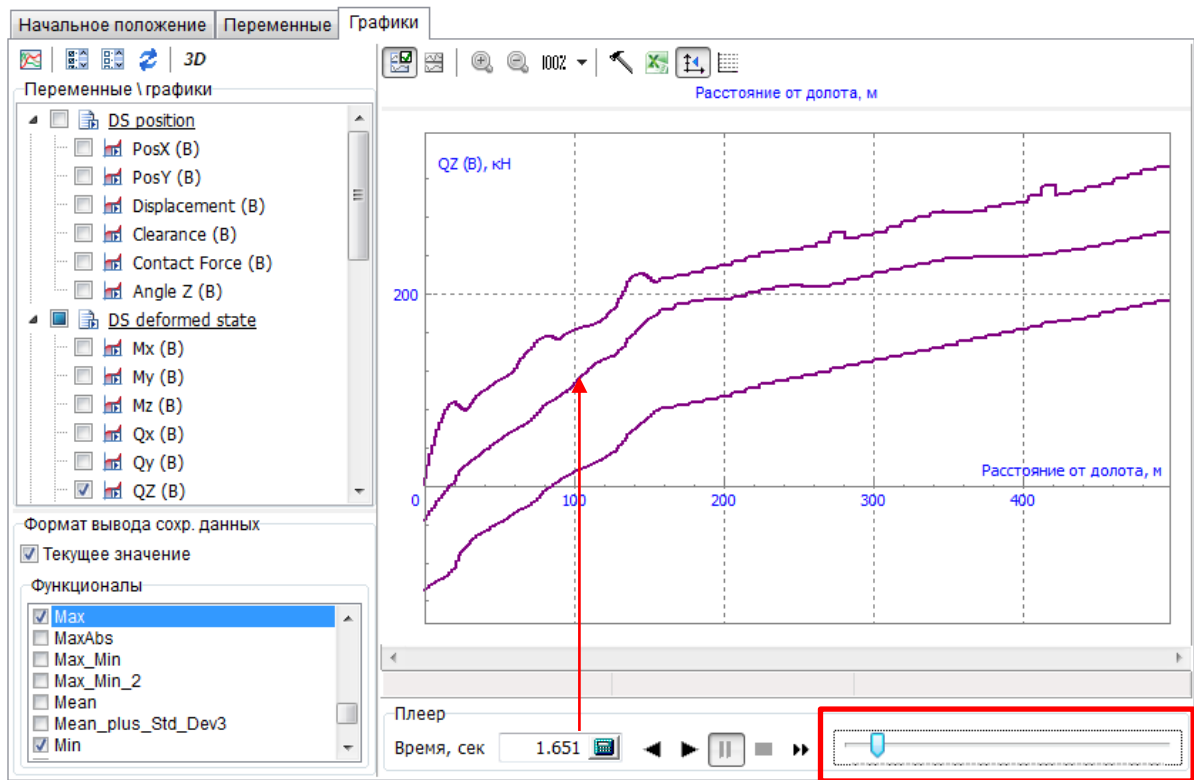
Выберите время для отображения Текущего значения распределения, либо проиграйте запись через Плеер.

Шаг 6.66. Из списка функционалов выберите **Min** и **Max**.

На поле графика появятся три линии – огибающие по максимальным (функционал **Max**) и минимальным (функционал **Min**) значениям осевой силы, и распределение для текущего момента. Подписи к линиям отображаются при наведении курсора на поле графика.


Шаг 6.67. Запустите плеер либо постепенно изменяйте время с помощью ползунка.

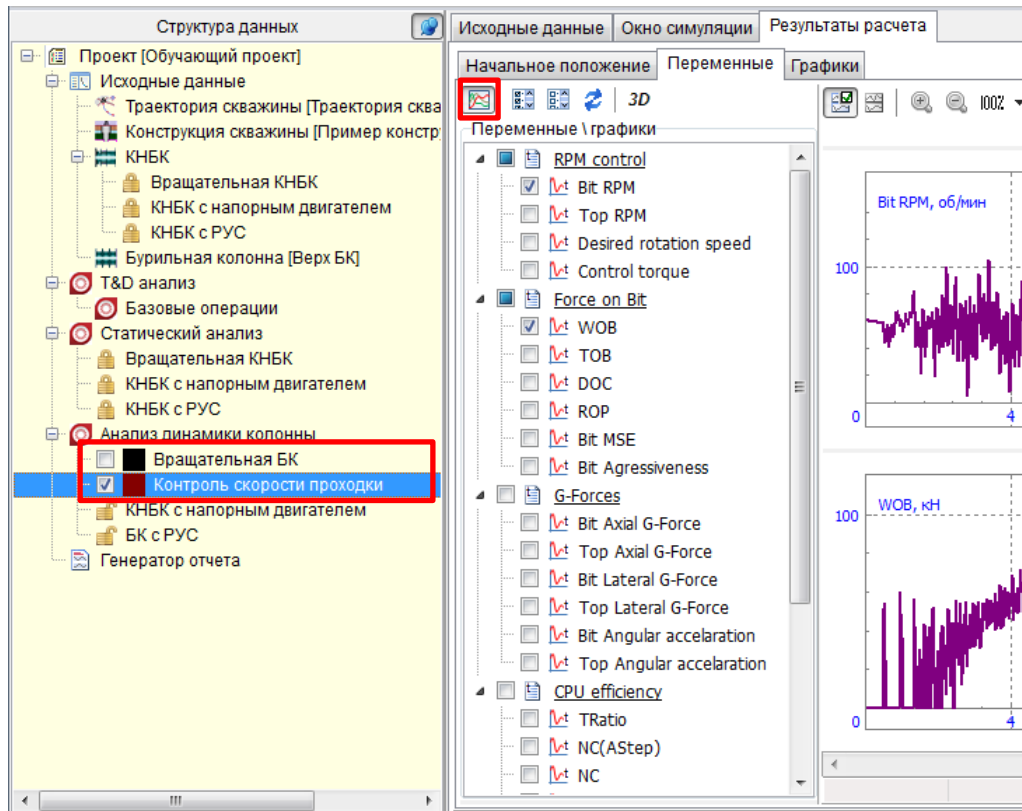
График осевой силы изменяется – сила на долоте становится отрицательной, что соответствует сжимающей силе, возникающей при контакте с забоем. Колебания графика *Текущего значения* находятся в диапазоне, обозначенном линиями выбранных функционалов.



2.5.6. Режим сравнения результатов

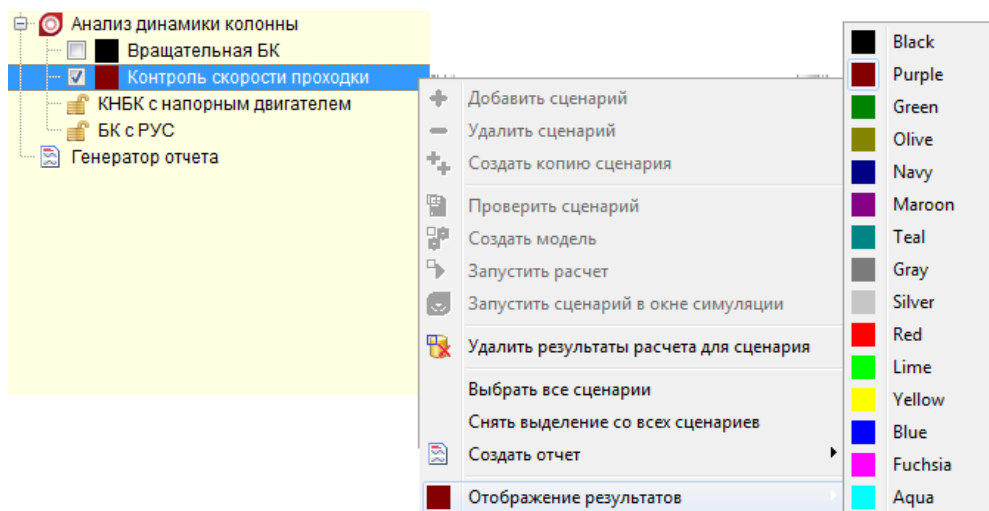
Интерфейс приложения позволяет сравнивать результаты расчета для различных сценариев.

Шаг 6.68. Перейдите на закладку **Результаты | Переменные** и активируйте режим сравнения  .



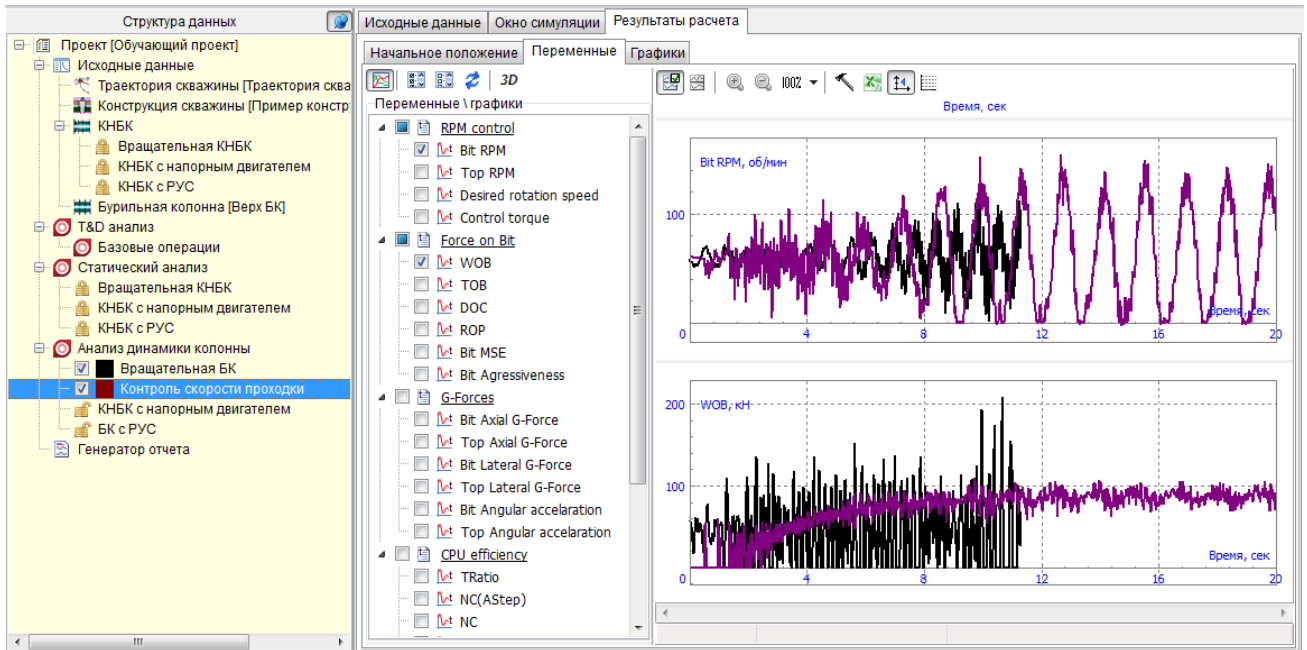
В дереве проекта для рассчитанных сценариев добавятся поля для выбора сценария и метка цвета, которым будут рисовать результаты сценария на графиках.

Пользователь может выбрать цвет отображения для сценария через контекстное меню дерева проекта.



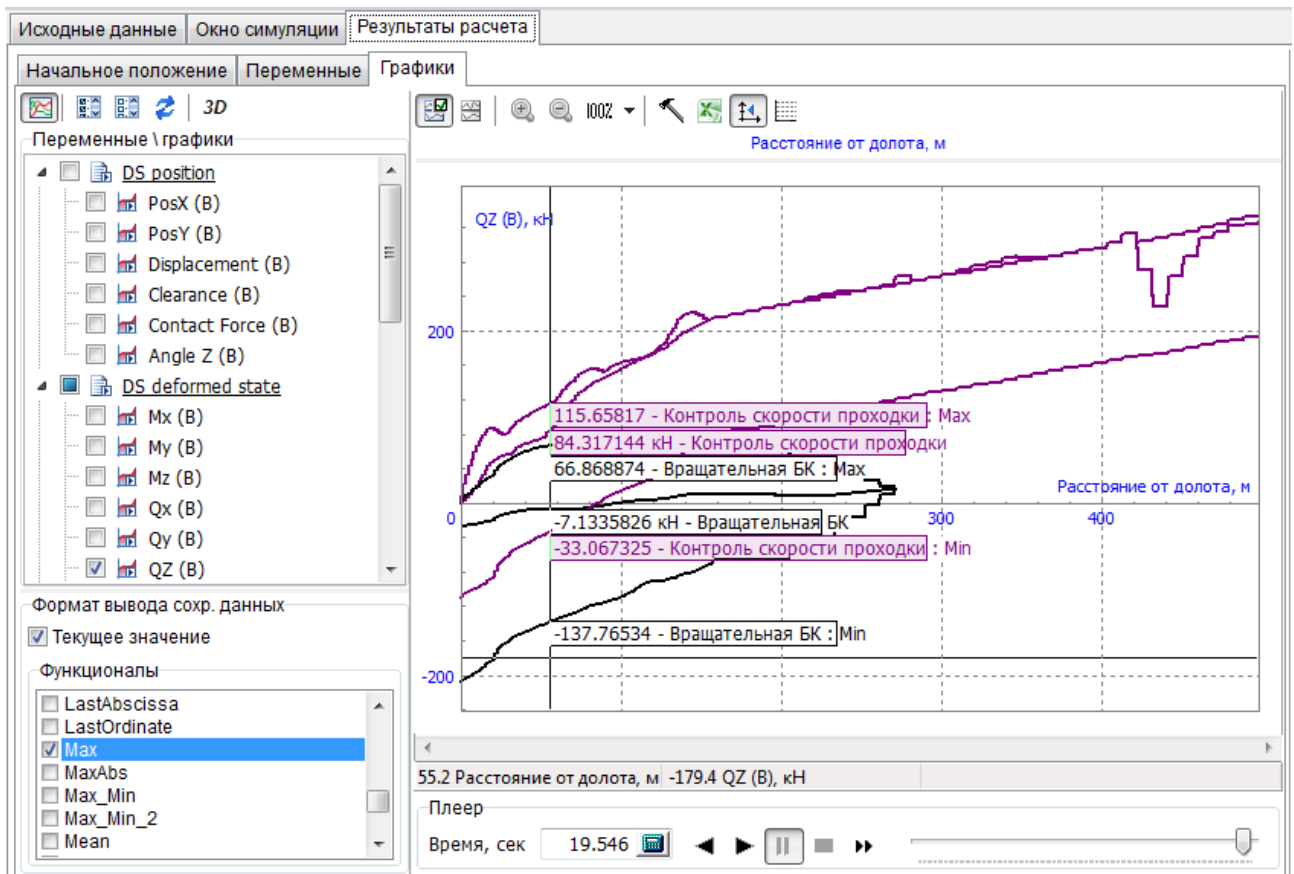
Шаг 6.69. Выберите в Дереве проекта оба рассчитанных сценария *Анализа динамики колонны.*

На графиках выбранных переменных отобразятся по две линии – для сценария *Вращательная БК* (черная) и сценария *Контроль скорости проходки.*



Шаг 6.70. Перейдите на закладку **Результаты | Графики.**

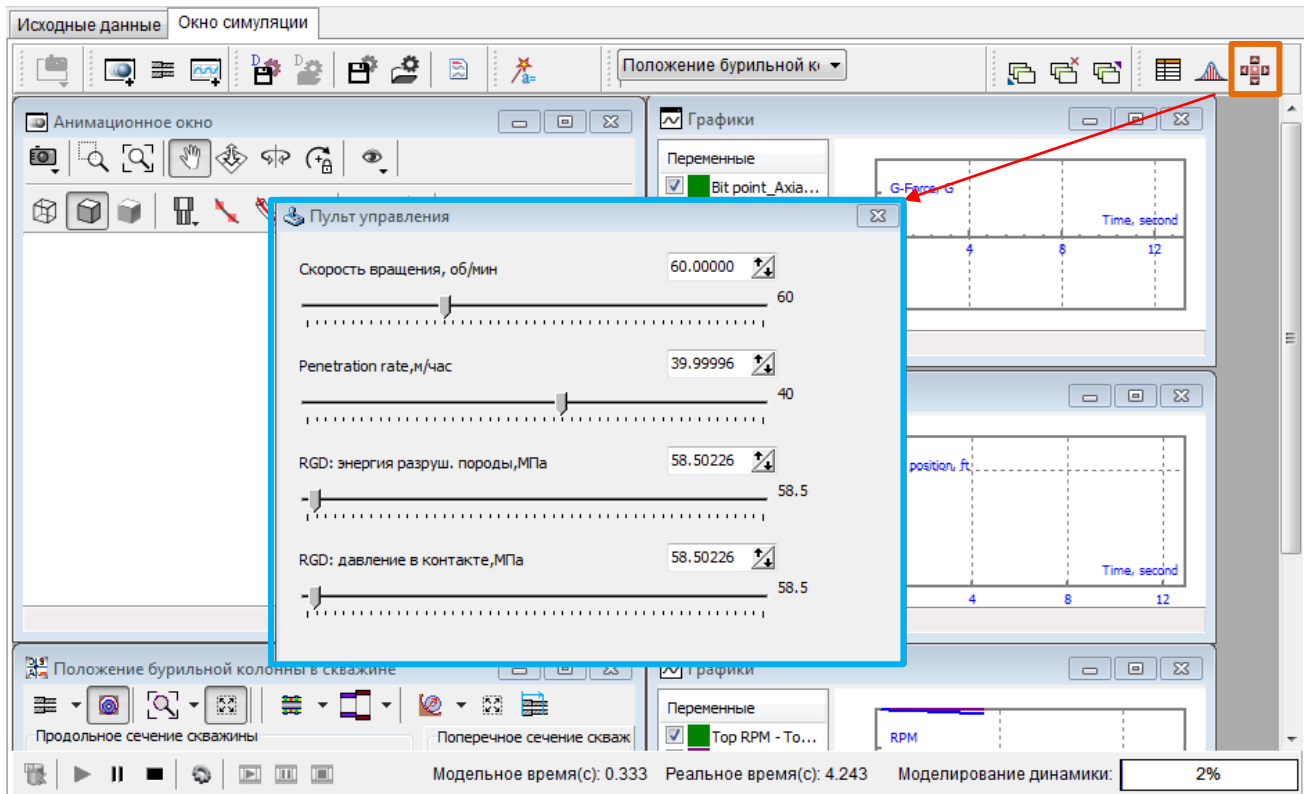
Две группы линий (по цветам) соответствуют выбранным сценариям.



2.5.7. Управление параметрами при моделировании

В режиме *Окна симуляции* пользователь может управлять некоторыми параметрами модели в процессе интегрирования с помощью инструмента **Пульт управления**.

Для отображения *Пульта управления* в *Окне симуляции* необходимо нажать кнопку главного меню окна.

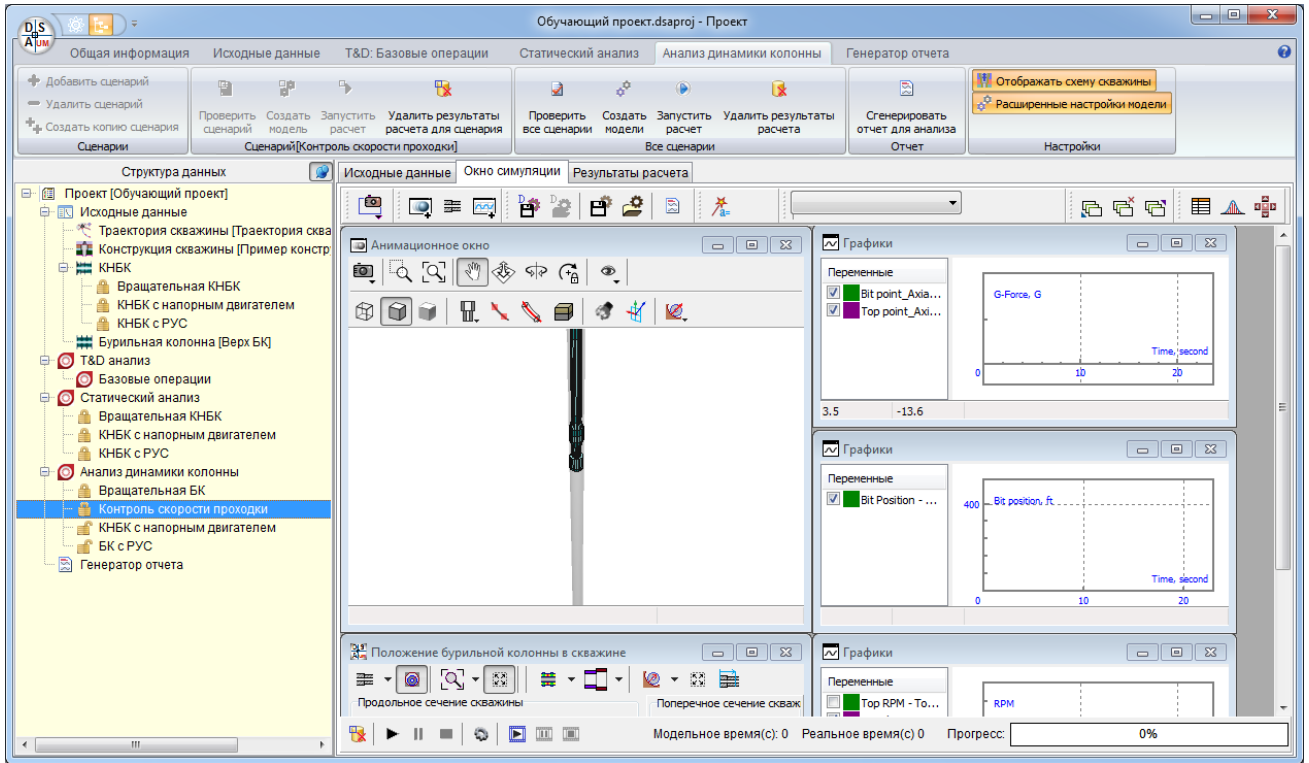


Список параметров доступных для изменения формируется автоматически на основании списка параметров сценария: характеристик операции (скорость вращения компоновки, требуемая нагрузка на долоте, скорость проходки и пр.) и управляемых параметров компоновки (см. Раздел 3.2.1.5).

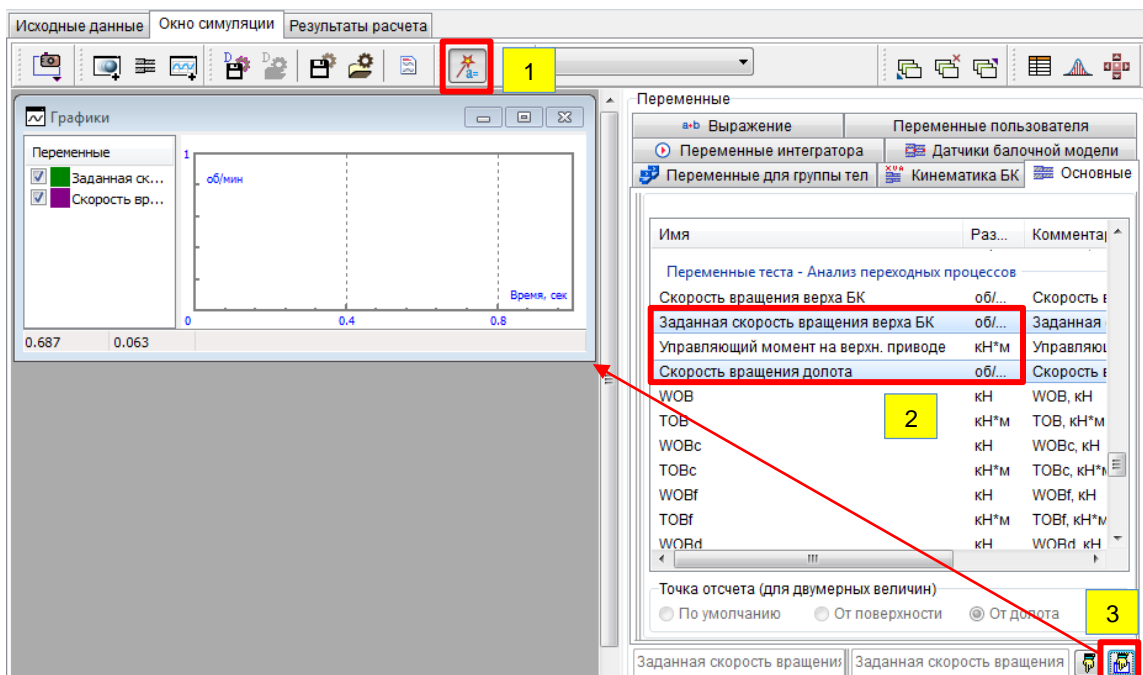
Демонстрация управления параметрами модели колонны в процессе моделирования на примере трех сценариев – *Контроль скорости проходки, БК с напорным двигателем и БК с РУС*.

2.5.7.1. Управление параметрами сценария **Контроль скорости проходки**

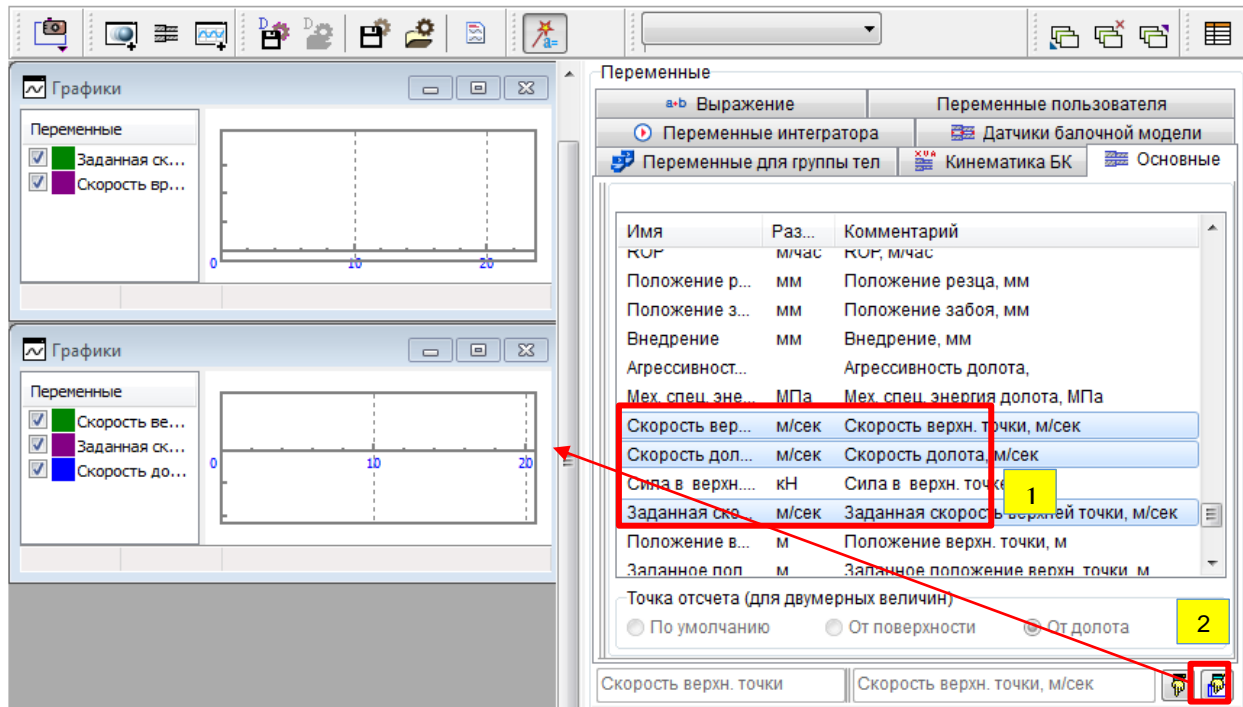
Шаг 6.71. Выберите сценарий **Контроль скорости проходки** в *Дереве проекта* и перейдите на закладку **Окно симуляции**.



Шаг 6.72. Закройте все окна в *Окне симуляции* () и через *Мастер переменных* () добавьте графики для переменных *Заданная скорость вращения верха БК* и *Скорость вращения долота*

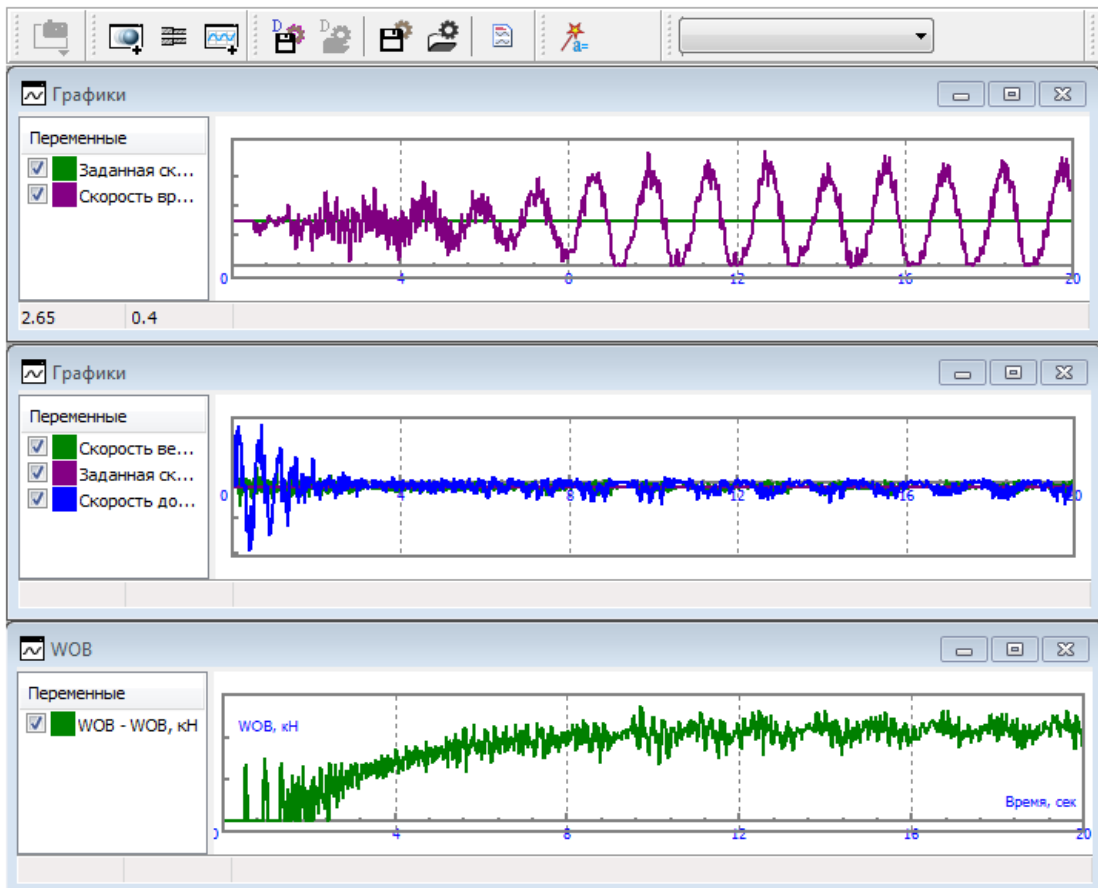


Шаг 6.73. Добавьте графики для переменных *Скорость верхней точки*, *Скорость долота* и *Заданная скорость верхней точки*.

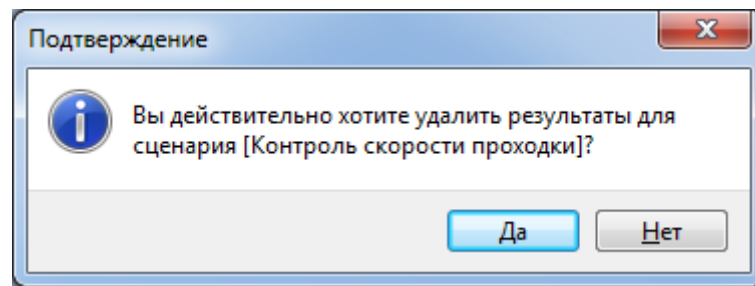
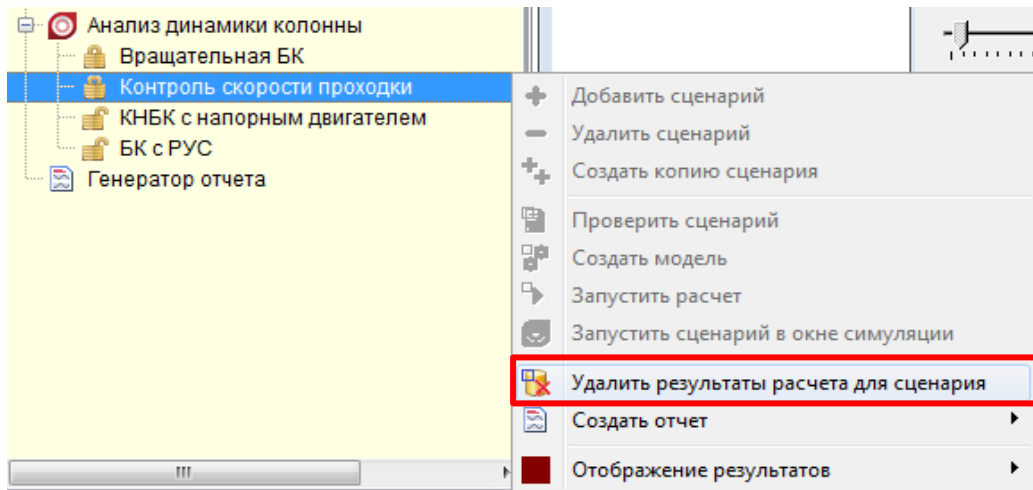


Шаг 6.74. Добавьте график для переменной **WOB – Осевая сила на долоте**.

Шаг 6.75. Запустите воспроизведение результатов расчета, чтобы запомнить внешний вид графиков.

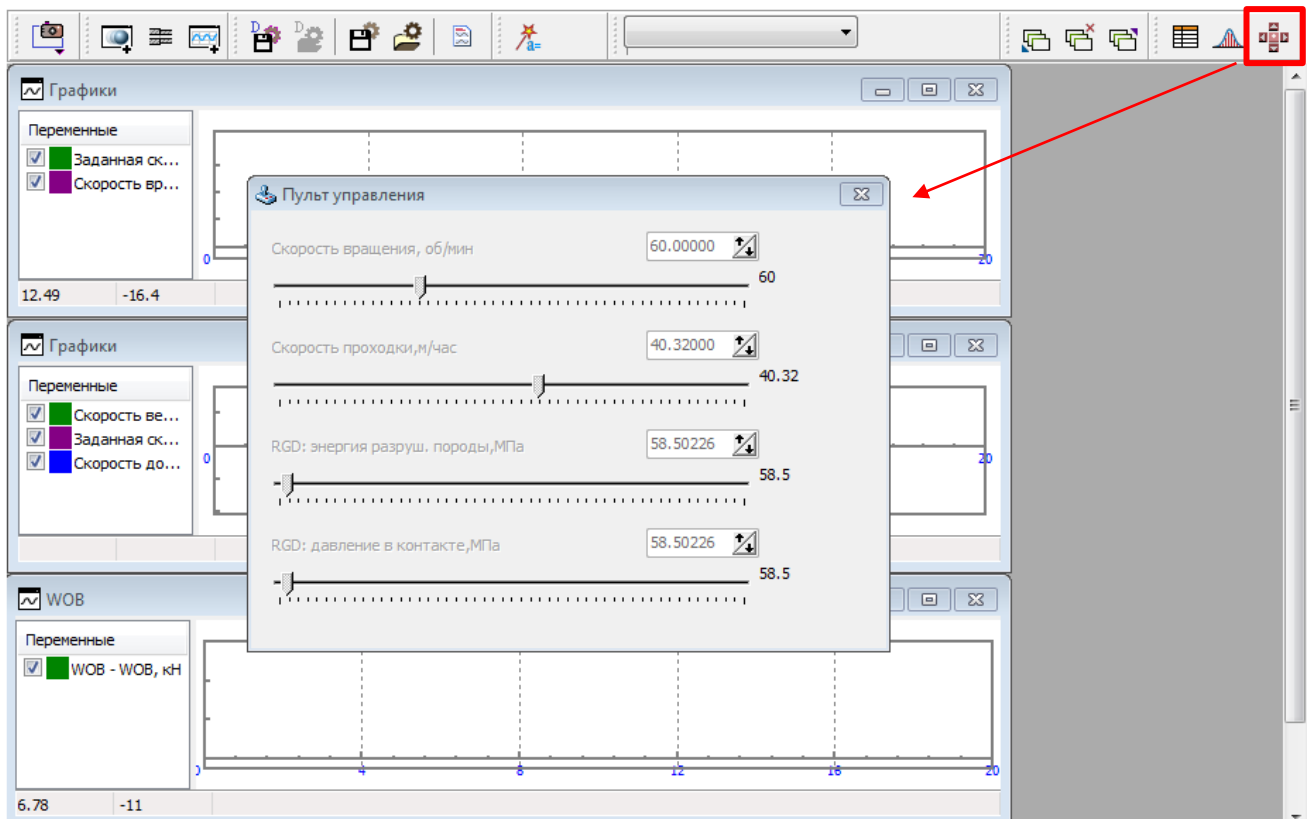


Шаг 6.76. Остановите воспроизведение и **Удалите результаты расчета для сценария.**



Шаг 6.77. Задайте **Время моделирование** равным **60 секунд**.

Шаг 6.78. Вернитесь на закладку *Окно симуляции* и откройте *Пульт управления*



Панель управления для сценария Контроль скорости проходки содержит следующие параметры:

- **Скорость вращения:** скорость вращения компоновки заданная в верхнем сечении.
- **Скорость проходки:** параметр сценария, задающий скорость смещения верхней точки компоновки вдоль оси скважины
- **RGD: энергия разрушения породы и RGD: давление в контакте:** параметры модели резания для PDC долота.

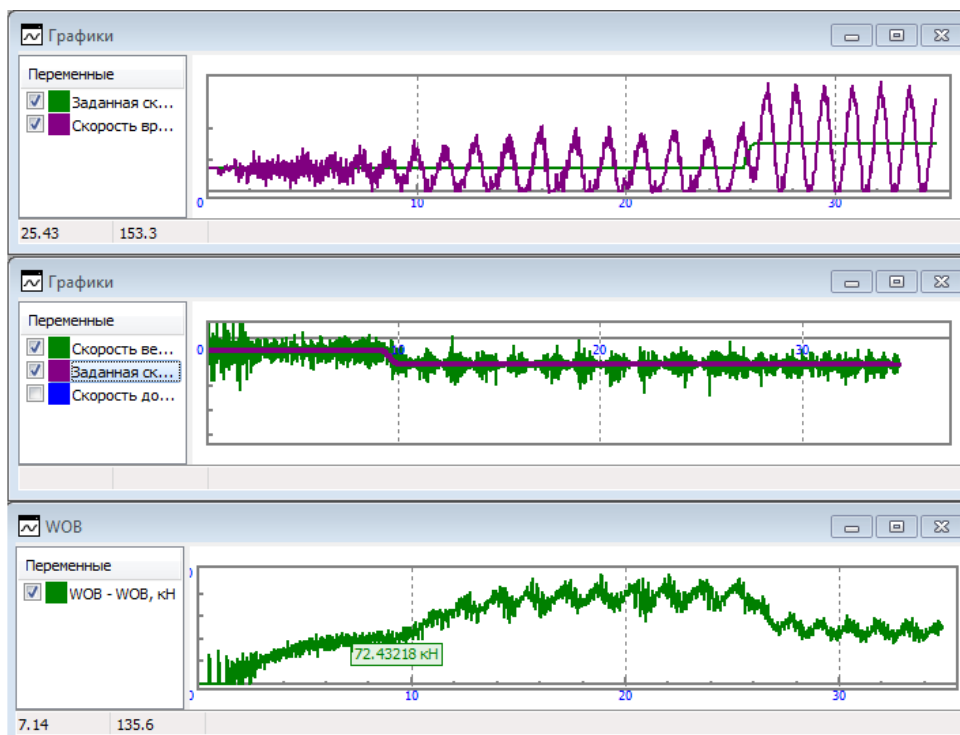
Внимание. Пульт управления активируется только на этапе моделирования динамики колонны!

Шаг 6.79. Запустите моделирование, подождите 10 секунд до выхода компоновки на стационарный режим проходки и попробуйте увеличить значение *Скорости проходки* на пульте до 80 м/час.

Увеличение скорости спуска колонны приводит к росту силы на долоте, необходимой для разрушения породы, что может привести к потере устойчивости компоновки в скважине.

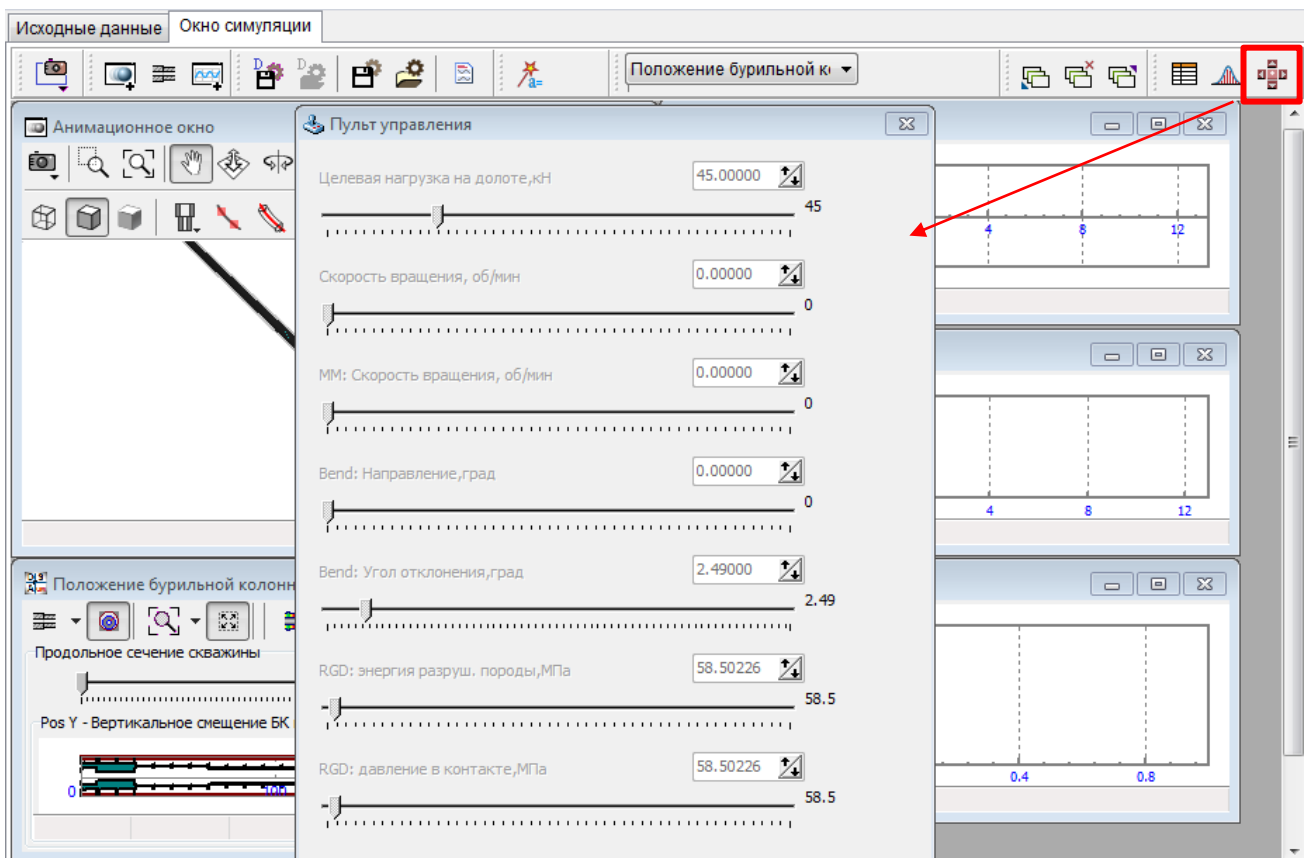
Шаг 6.80. Подождите еще 10 секунд и увеличьте скорость вращения до 120 об/мин.

Увеличение скорости вращения снижает уровень осевой силы на долоте, необходимой для обеспечения заданной скорости проходки.



Шаг 6.81. Прервите расчет.

Шаг 6.82. Выберите сценарий БК с напорным двигателем в Дереве проекта, перейдите на закладку **Окно симуляции** и откройте **Пульт управления**.

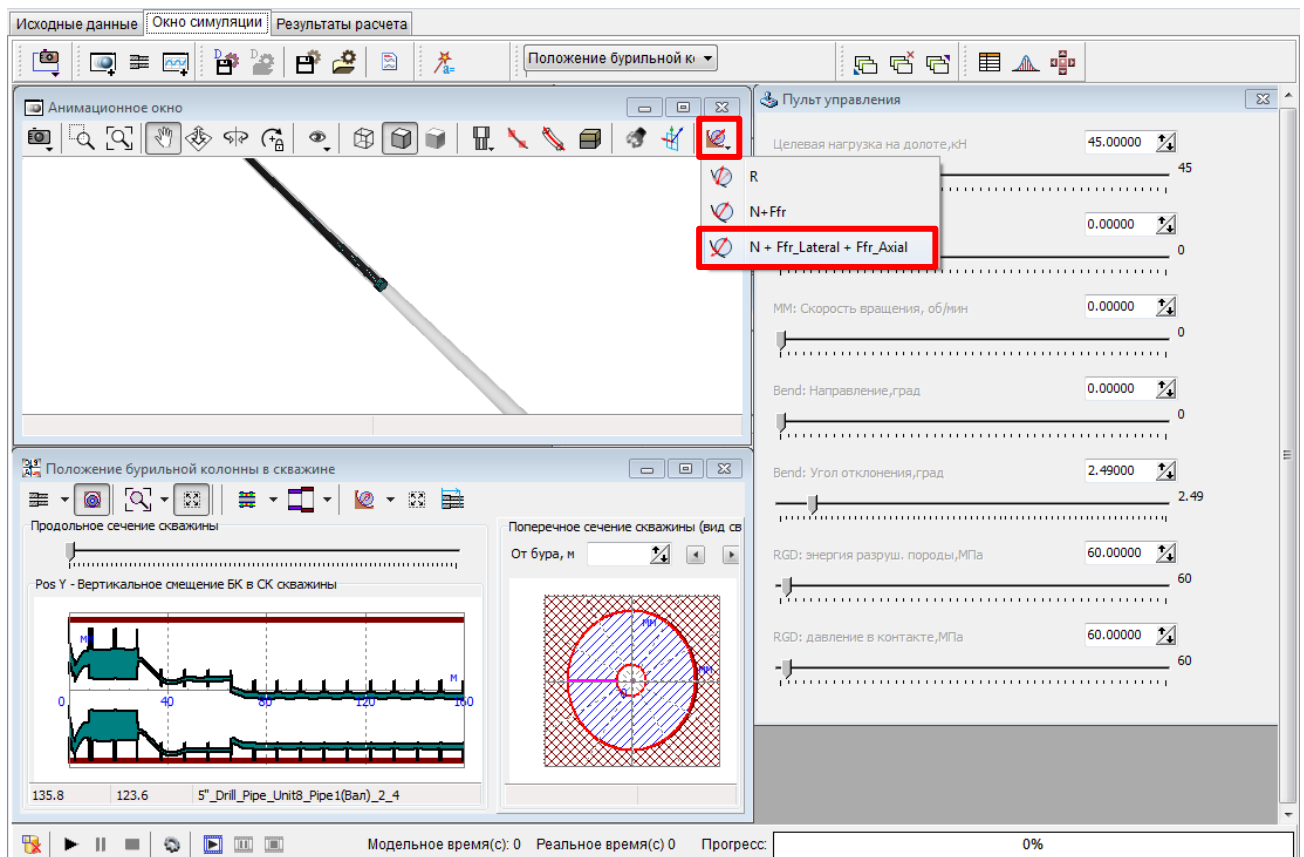


Панель управления для сценария *БК с напорным двигателем* содержит следующие параметры:

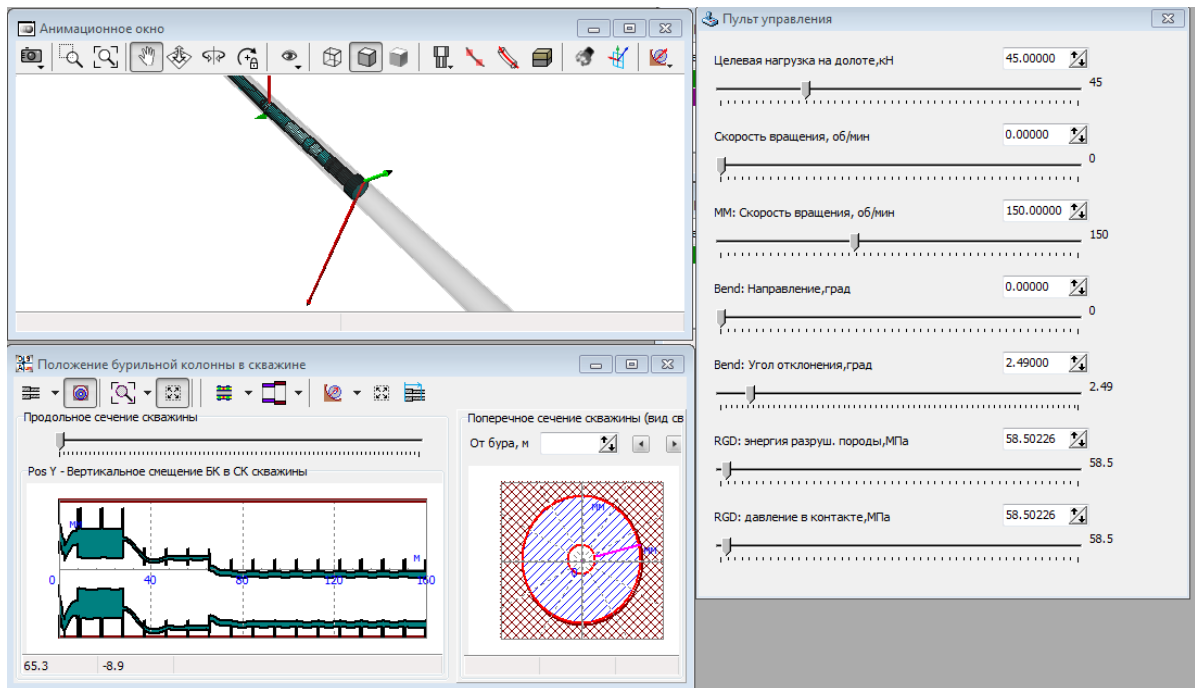
- **Целевая нагрузка на долоте:** среднее значение осевой силы на долоте, поддерживаемое за счет силы, приложенной в верхней точке компоновки. Реальное значение силы на долоте является результатом расчета взаимодействия с забоем для выбранной модели резания.
- **Скорость вращения:** скорость вращения верхнего сечения компоновки.
- **ММ: Скорость вращения:** скорость вращения нижней части напорного двигателя относительно верхней.
- **Bend: Направление:** направление отклонения нижней части двигателя относительно верхней; задается в локальной системе координат скважины (см. Разделы 3.1.3 и 3.2.1.3).
- **Bend: Угол отклонения:** Угол отклонения нижней части двигателя.
- **RGD: энергия разрушения породы** и **RGD: давление в контакте:** параметры модели резания для PDC долота.

Рассматриваемый сценарий описывает проходку скважины с помощью компоновки, оснащенной напорным двигателем с отклоняемой нижней частью. Верхняя часть компоновки не вращается. Для системы отклонения нижней части двигателя, описываемой соединением типа **С изгибом** (см. Раздел 3.2.1.3), задана фиксированная ориентация отклоняемой части. Таким образом, в процессе моделирования отклонение в каждый момент времени определяется только параметрами сценария – **Bend: Направление** и **Bend: Угол отклонения**. Проиллюстрируем эту зависимость с помощью пульта управления.

Шаг 6.83. Настройте рабочий стол *Окна симуляции* для визуализации эффектов управления параметрами модели: расположите анимационное окно и окно сечения компоновки левее пульта управления, в анимационном окне добавьте отображение векторов – **N (нормальная сила) + Ffr_lateral (поперечная составляющая сил трения) + Ffr_axial (осевая составляющая сил трения)**.

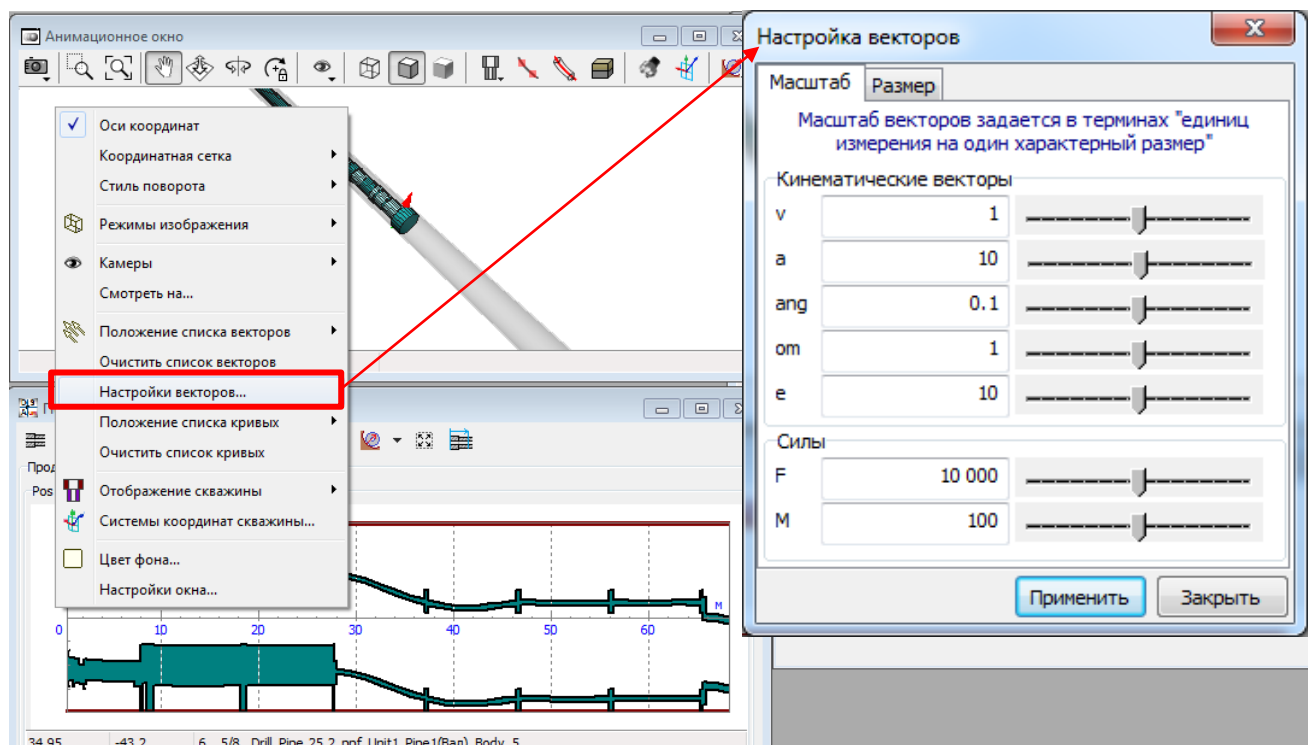


Шаг 6.84. Запустите анализ, подождите завершения расчета начального положения и старта моделирования.

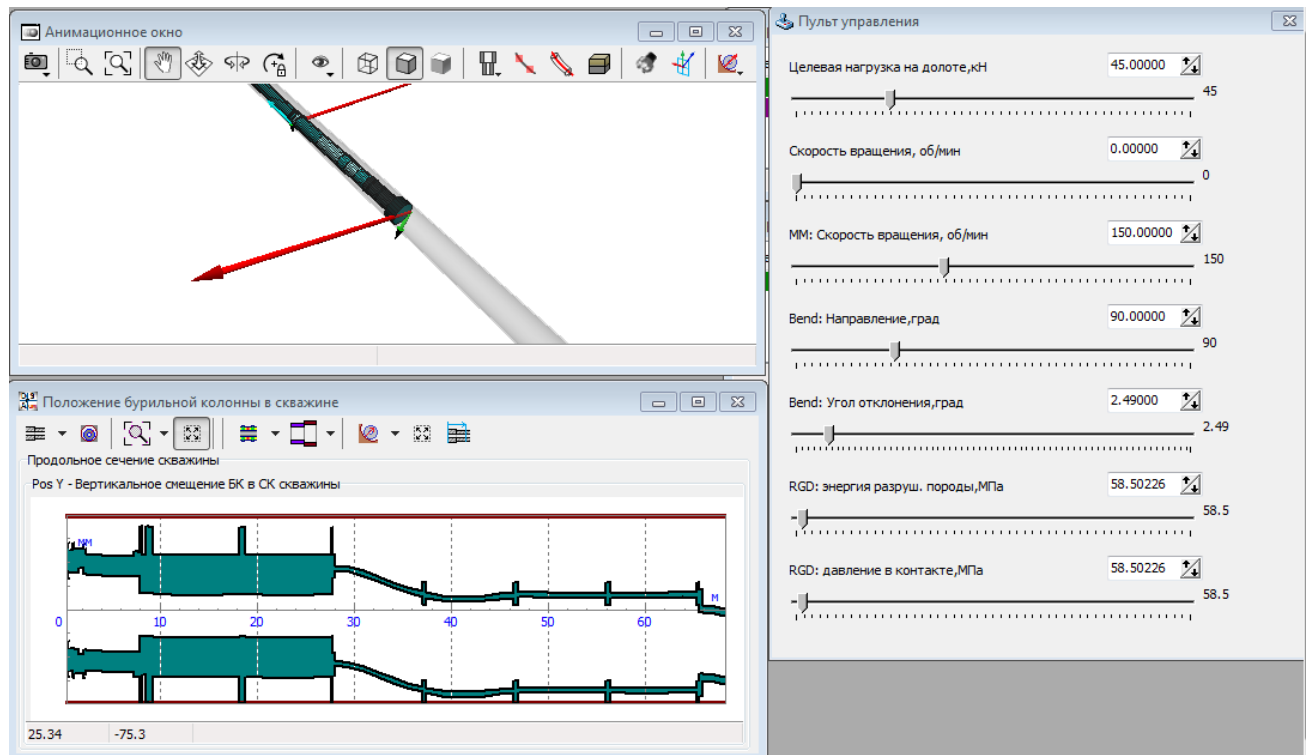


В окне поперечного сечения компоновки виден излом (отклонение) нижней части (левой) вверх; в анимационном окне вектор нормальных сил в боковом контакте долота со скважиной соответственно направлен вниз. Данное положение соответствует проходке скважины с набором угла уклона ствола.

Шаг 6.85. Настройте масштаб векторов в анимационном окне (опция **Настройка векторов** контекстного меню анимационного окна).



Шаг 6.86. В *Пульте управления* измените параметр *Направление* – постепенно увеличьте значение до 90 град.

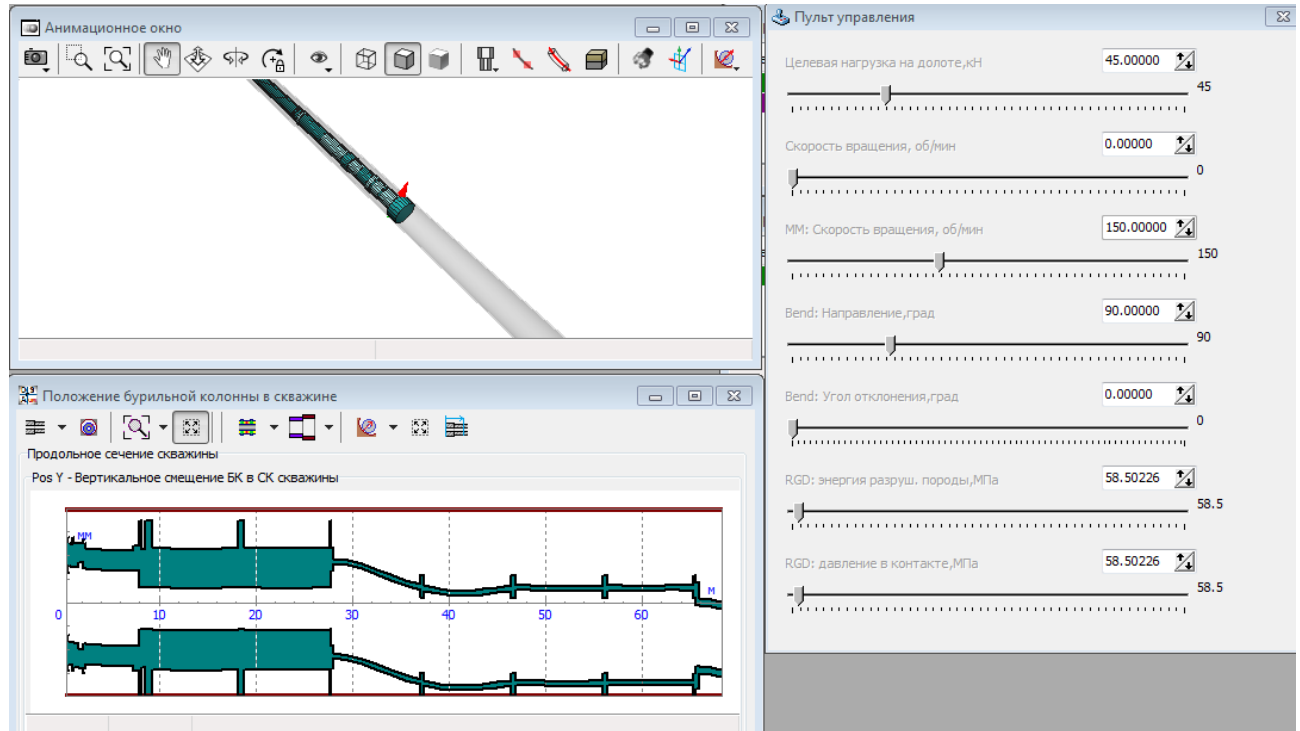


По завершению переходного процесса картина изменится. В окне поперечного сечения компоновки – для графика *Вертикального сечения* – пропадет излом; вектор нормальных сил в боковом контакте долота со скважиной повернется на 90 градусов. Данное положение соответствует проходке скважины со снижением азимутального угла ствола.

Внимание. Резкое изменение направления может привести к развитию слабозатухающего процесса круговых осцилляций долота в сечении скважины (т.н. whirl), что затруднит оценку полученного эффекта.

Шаг 6.87. В Пульте управления измените параметр Угол отклонения – уменьшите его значение до 0 градусов.

В анимационном окне можно видеть резкое снижение уровня боковых контактных сил; уровень контактных сил и направление проходки определяется конфигурацией скважины и деформированным состоянием прямой компоновки.

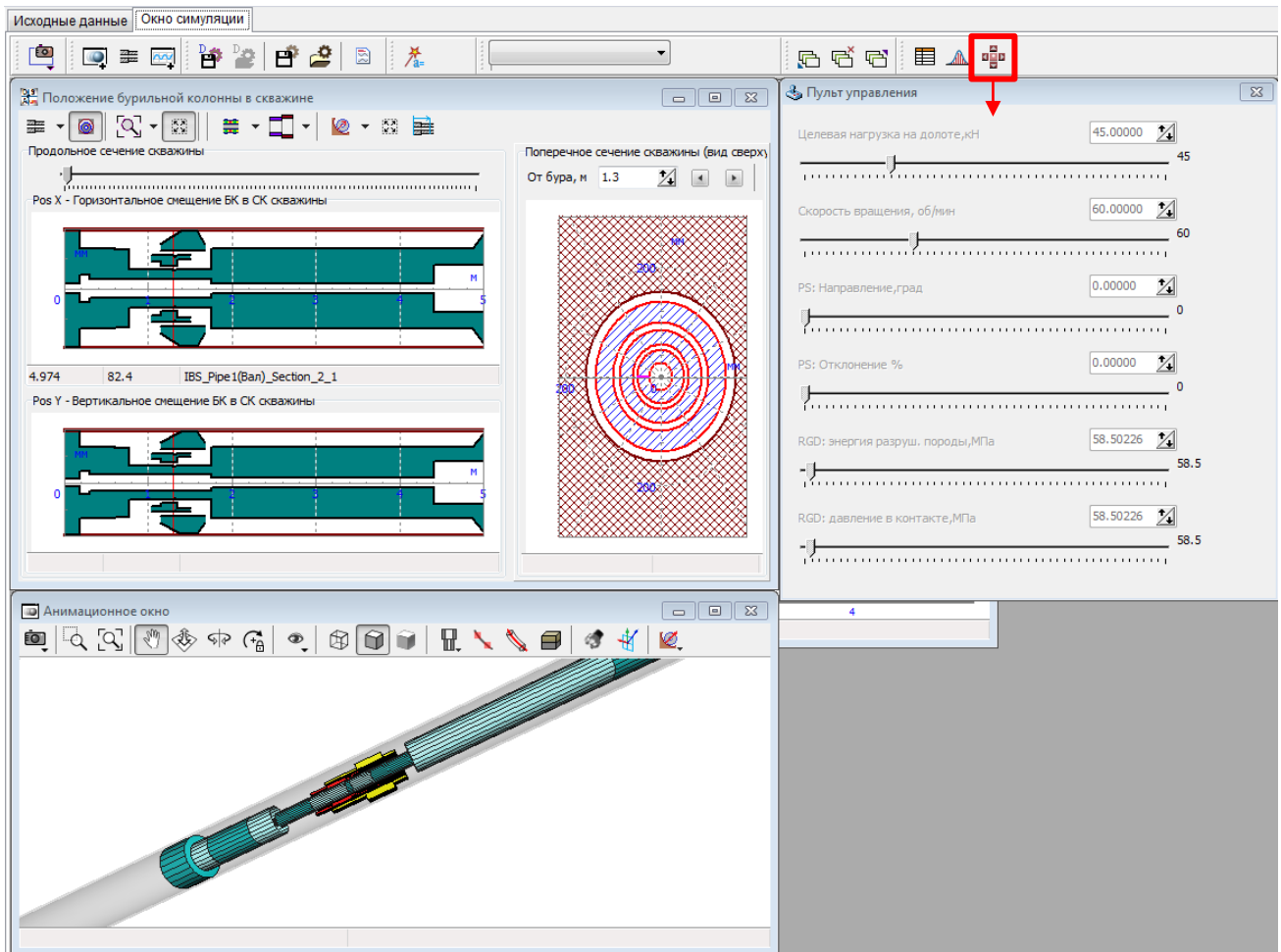


Шаг 6.88. Прервите расчет.

2.5.7.3. Управление параметрами сценария БК с РУС

Шаг 6.89. Выберите сценарий БК с РУС в *Дереве проекта* и перейдите на закладку **Окно симуляции**.

Шаг 6.90. Откройте **Пульт управления**.



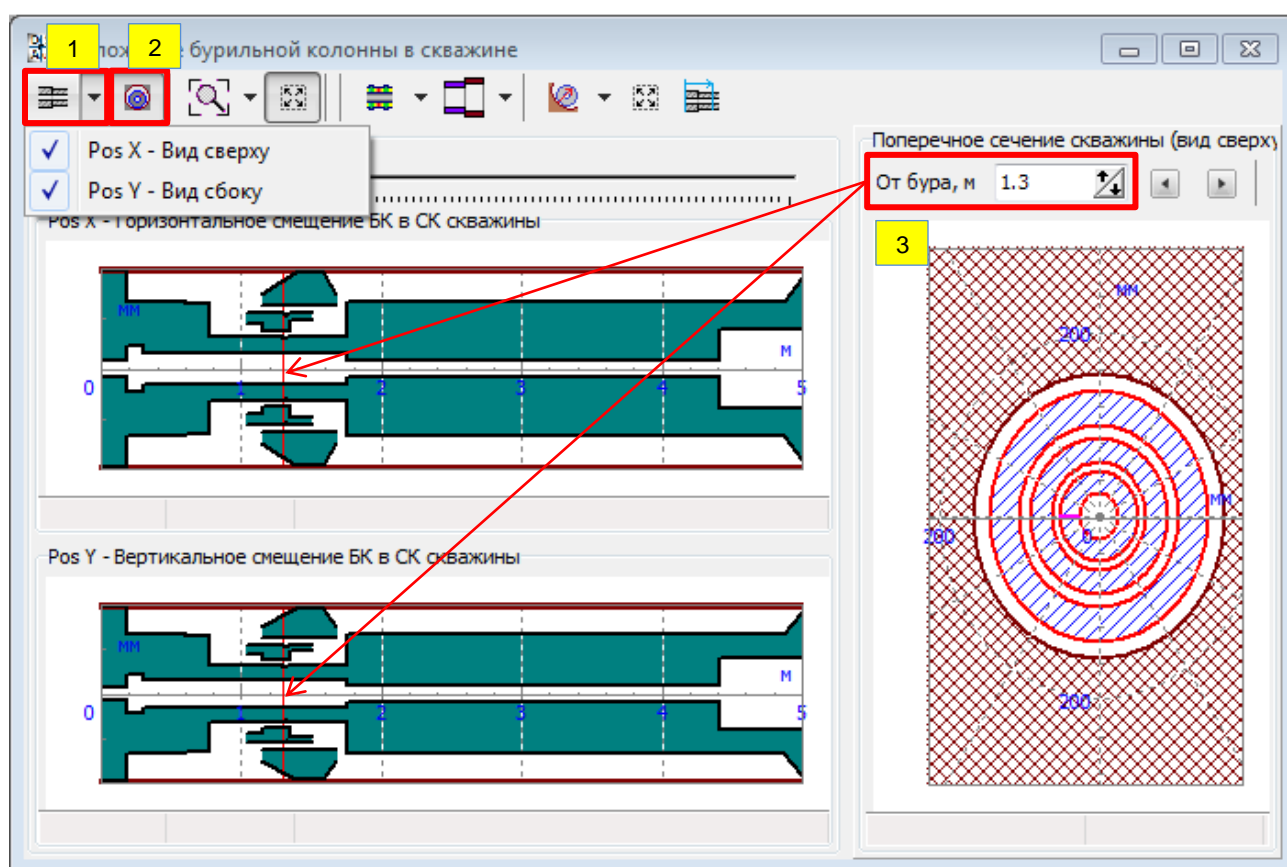
Пульт управления для сценария *БК с РУС* содержит следующие параметры:

- **Целевая нагрузка на долоте:** среднее значение осевой силы на долоте, поддерживаемое за счет силы, приложенной в верхней точке компоновки. Реальное значение силы на долоте является результатом расчета взаимодействия с забоем для выбранной модели резания.
- **Скорость вращения:** скорость вращения верхнего сечения компоновки.
- **PS: Направление:** направление смещения манифолда РУС относительно внешней детали (см. Разделы 3.1.3 и 3.2.2.2).
- **PS: Отклонение:** процент смещения относительно максимального для выбранной модели РУС.
- **RGD: энергия разрушения породы** и **RGD: давление в контакте:** параметры модели резания для PDC долота.

Рассматриваемый сценарий описывает проходку скважины с помощью вращательной компоновки, оснащенной роторной управляемой системой (РУС) – обеспечивающей отклонение долота в заданном направлении на заданную величину в процессе проходки.

Шаг 6.91. Настройте рабочий стол *Окна симуляции* для визуализации эффектов управления параметрами модели.

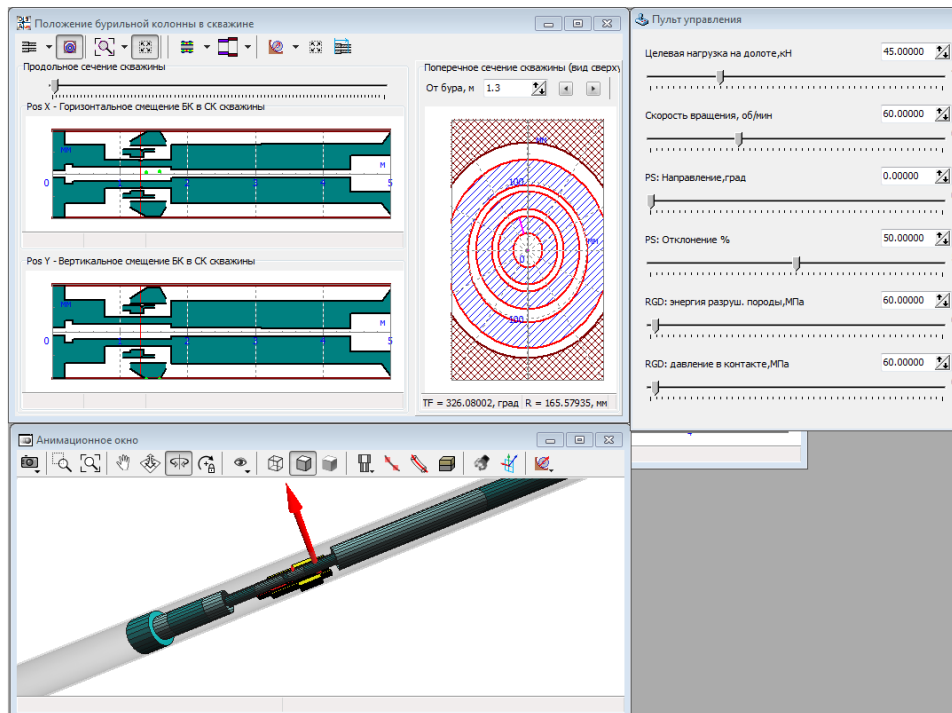
- Расположите анимационное окно и окно сечения компоновки левее пульта управления и настройте окно сечения компоновки (добавьте отображения вертикального и горизонтального продольных сечений, а также поперечное сечение для точки, расположенной в 1.3 метра от долота).



Сечение компоновки позволит наблюдать смещение манифолда РУС относительно внешней детали, контактирующей со скважиной, в зависимости от заданного направления и величины смещения.

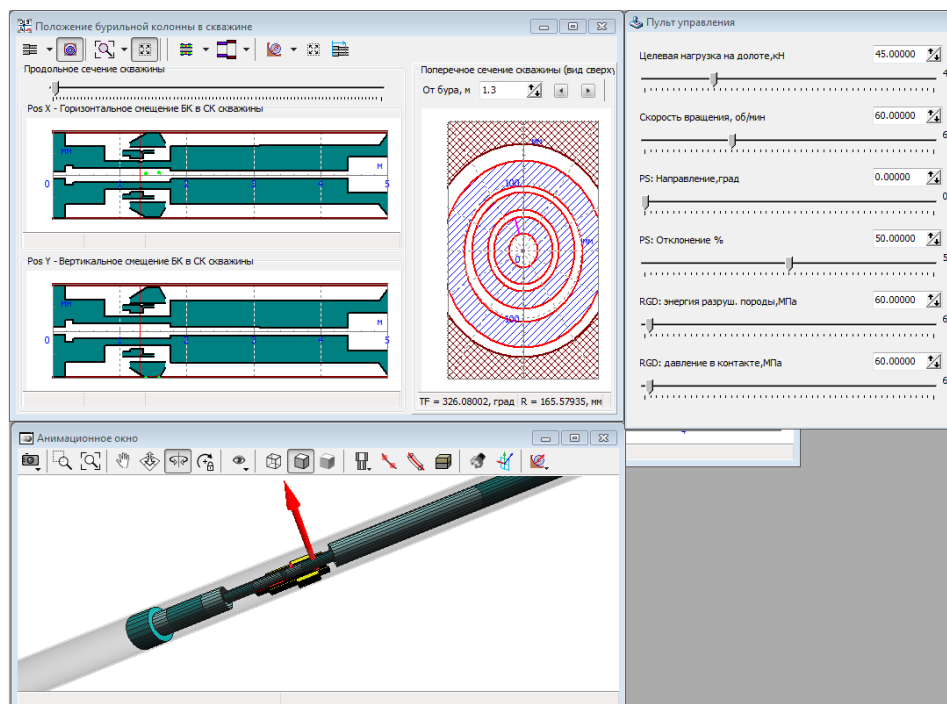
- Добавьте изображение векторов контактных сил в анимационном окне для визуализации боковых сил, возникающих на долоте в зависимости от управления РУС.

Шаг 6.92. Запустите анализ, подождите завершения расчета начального положения и старта моделирования.



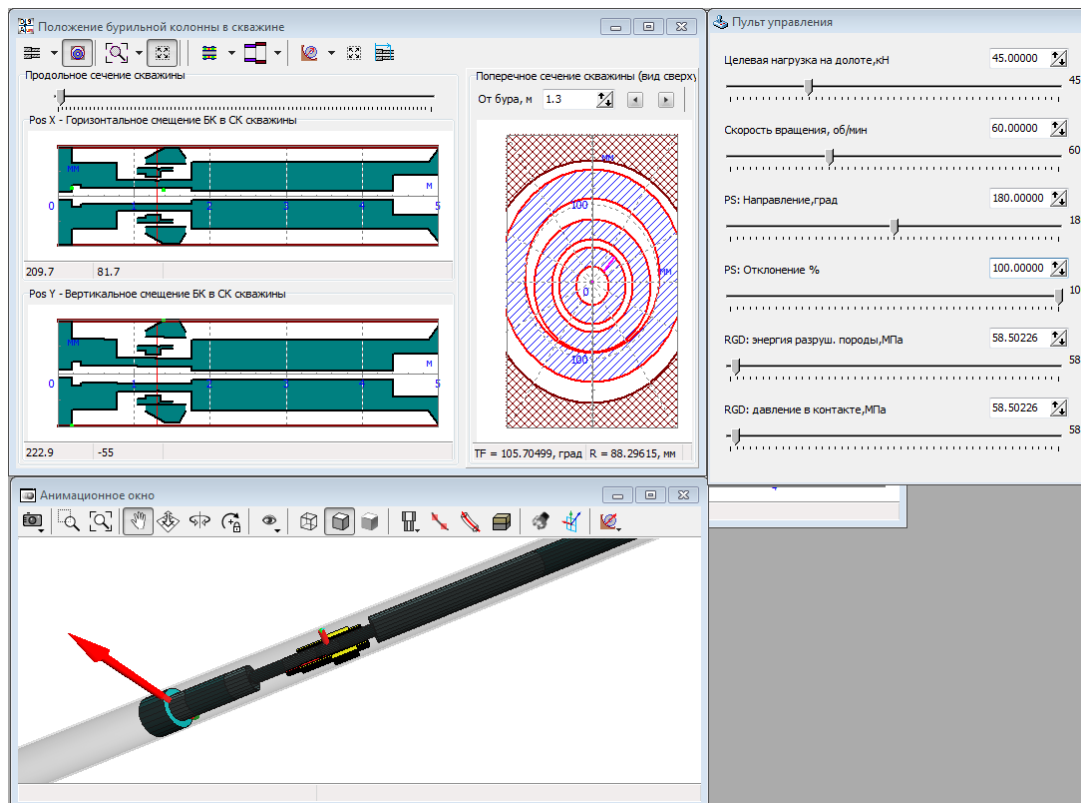
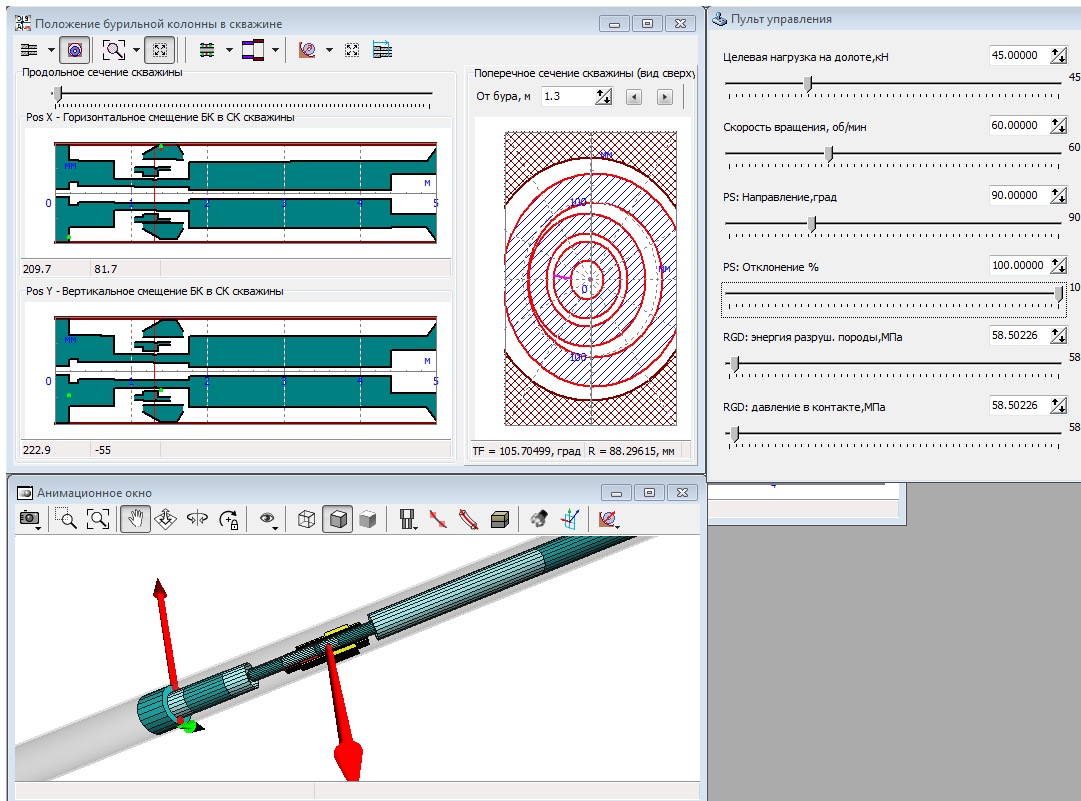
В окне поперечного сечения наблюдаем смещение манифолда с валом вверх, в анимационном окне – контактную силу внешней оболочки со скважиной, действующую в том же направлении.

Шаг 6.93. Измените значение **Отклонения** до **100%**.



Смещение вала и уровень контактных сил возрастает.

Шаг 6.94. Измените значение **Направление** на **90**, а затем на **180** градусов.



Шаг 6.95. Прервите расчет.

Ознакомление с основными процедурами *Анализа динамики колонны* завершено.

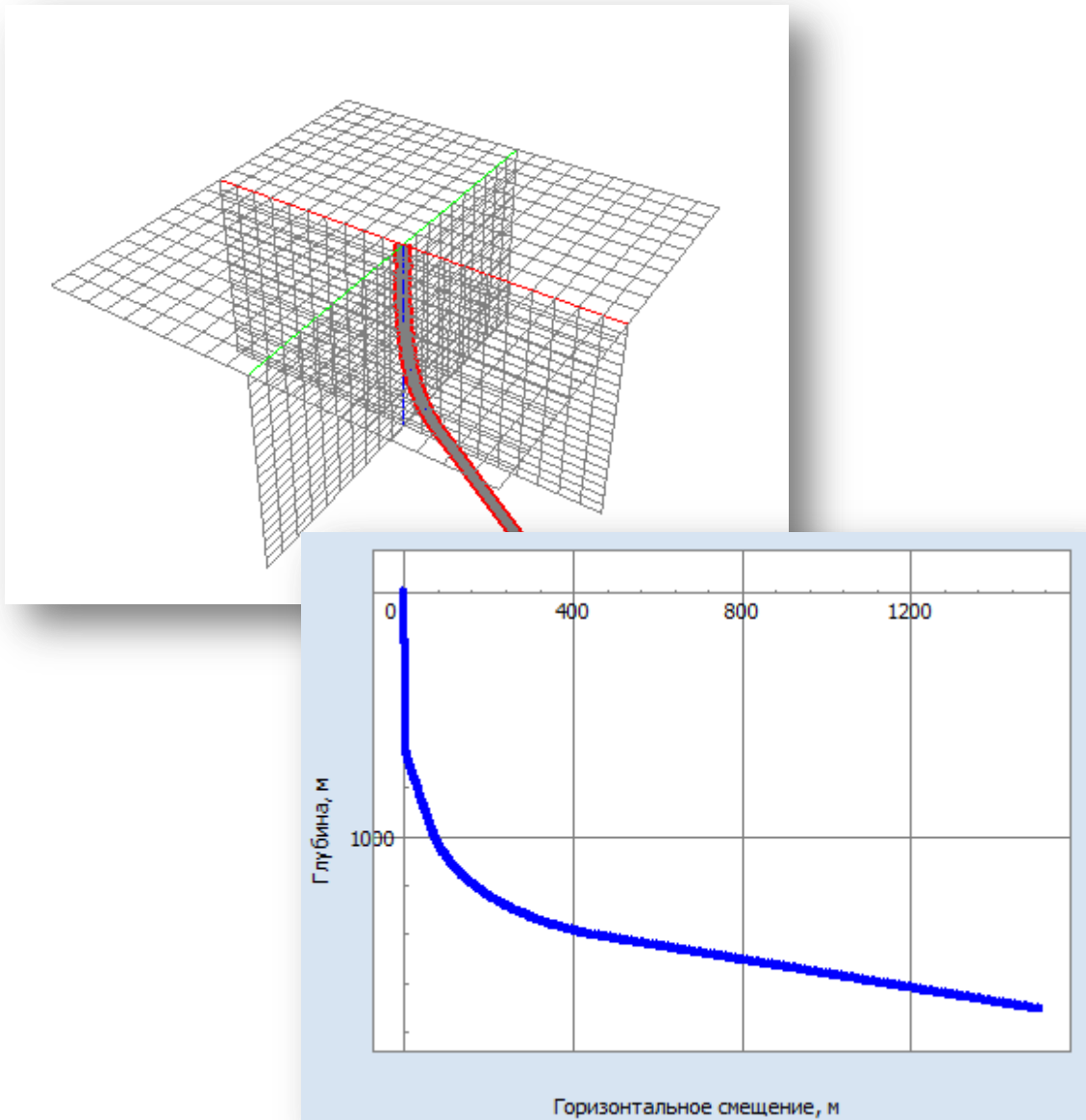
3. Математические модели

В данном разделе приведено описание математических моделей, применяющихся при описании расчетных схем и выполнении расчетов для различных типов анализа.

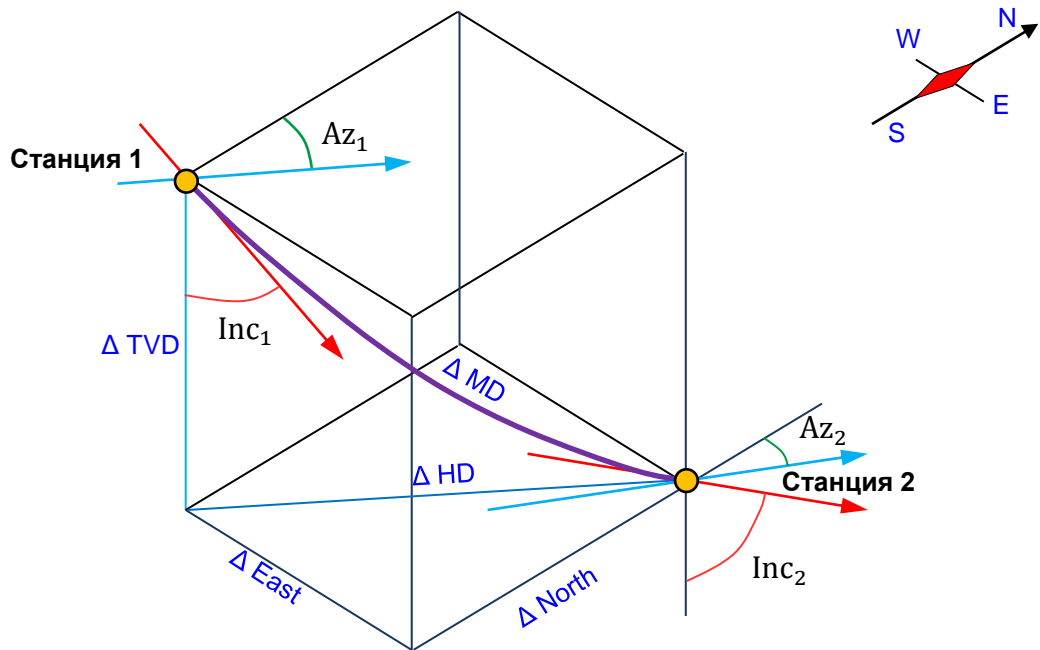
3.1. Модель скважины

3.1.1. Траектория скважины

Траектория скважины описывается пространственной кривой, представленной набором отрезков, построенных по методу наименьшей кривизны. Каждый участок представляет собой дугу окружности минимального радиуса, строящейся по известным векторам касательных в начальной и конечной точке дуги и длине дуги.



Для описания траектории используется набор точек – станций, для каждой из которых задаются углы ориентации (зенитный угол и азимут) и расстояние (дуговая координата или *Длина ствола*) от поверхности.



- Inc_i – зенитный угол (угол между вектором, направленным вертикально вниз, и касательной к траектории скважины).
- Azi_i – азимут (угол между направлением на север и касательной к траектории скважины).
- MD_i – длина траектории скважины (длина ствола) в точке.

Для расчета смещений станции относительно предыдущей используются зависимости метода наименьшей кривизны:

$$\Delta North_i = \frac{1}{2} \Delta MD \cdot (\sin(Inc_{i-1}) \cdot \cos(Azi_{i-1}) + \sin(Inc_i) \cdot \cos(Azi_i)) \cdot RF$$

$$\Delta East_i = \frac{1}{2} \Delta MD \cdot (\sin(Inc_{i-1}) \cdot \sin(Azi_{i-1}) + \sin(Inc_i) \cdot \sin(Azi_i)) \cdot RF$$

$$\Delta TVD_i = \frac{1}{2} \Delta MD \cdot (\cos(Inc_i) + \cos(Inc_{i-1})) \cdot RF$$

, где

$$\Delta MD = MD_i - MD_{i-1}$$

$$RF = \frac{2}{DL} \cdot \tan(DL/2)$$

$$DL = \arccos(\cos(Inc_i - Inc_{i-1}) - \sin(Inc_{i-1}) \cdot \sin(Inc_i) \cdot (1 - \cos(Azi_i - Azi_{i-1})))$$

На участке между двумя станциями значения зенитного угла и азимута меняются линейно, что позволяет применить приведенные выше формулы для расчета положения промежуточных точек на участке.

В программе UM Drillstring Analysis список станций траектории описывается в виде таблицы, включающей базовые параметры (длина ствола, зенитный угол и азимут), а также расчетные величины:

#	Длина ствола, м	Зенит, град	Азимут, град	Глубина, м	Гориз.смещ., м	С+/Ю-, м	В+/З-, м	Искривление, град/30м
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	144.300	0.000	0.000	144.300	0.000	0.000	0.000	0.000
3	170.000	0.530	145.540	170.000	0.064	-0.098	0.067	0.629
4	191.000	0.620	12.300	190.999	0.005	-0.067	0.146	1.533
5	215.500	0.530	28.820	215.498	-0.238	0.162	0.229	0.234
6	242.000	0.530	42.440	241.997	-0.475	0.360	0.371	0.145
7	271.000	0.260	45.160	270.996	-0.662	0.505	0.508	0.284
8	303.000	0.090	145.530	302.996	-0.716	0.535	0.574	0.276
9	332.000	0.090	46.480	331.996	-0.724	0.532	0.603	0.144
10	360.000	0.090	42.700	359.996	-0.765	0.564	0.634	0.006
11	389.000	0.090	292.490	388.996	-0.786	0.589	0.629	0.155
12	418.000	0.090	8.690	417.996	-0.808	0.620	0.611	0.117
13	447.000	0.180	266.380	446.996	-0.810	0.640	0.569	0.229
14	474.000	0.180	272.010	473.996	-0.776	0.639	0.484	0.020
15	503.000	0.350	143.510	502.996	-0.715	0.569	0.491	0.508
16	560.000	0.180	168.560	559.995	-0.552	0.341	0.613	0.108
17	588.000	0.450	130.540	587.994	-0.482	0.227	0.705	0.357
18	600.000	1.400	185.940	599.993	-0.327	0.050	0.726	3.055
19	630.000	4.350	198.250	629.952	1.159	-1.395	0.331	3.045
20	660.000	7.340	200.580	659.793	4.209	-4.270	-0.699	3.047
21	690.000	10.340	201.560	689.433	8.817	-8.569	-2.362	3.052
22	699.130	11.250	201.760	698.401	10.526	-10.158	-2.993	3.041

- *Глубина (TVD)* – вертикальная координата станции;
- *Горизонтальное смещение (HD)* – горизонтальное смещение станции относительно устья;
- *С+/Ю- (North)* – горизонтальное смещение станции относительно устья в направлении на географический Север;
- *В+/З- (Eastr)* – горизонтальное смещение станции относительно устья в направлении на географический Восток;
- *Искривление (Dogleg)* – кривизна ствола скважины, приведенная к длине 30м (100 футов); скорость изменения зенитного угла и азимута на 30м (100 футов) траектории для участка между текущей и предыдущей станцией.

Извилистость ствола скважины описывается добавлением к исходным параметрам станций гармонических вариаций зенитного угла и азимута по длине оси.

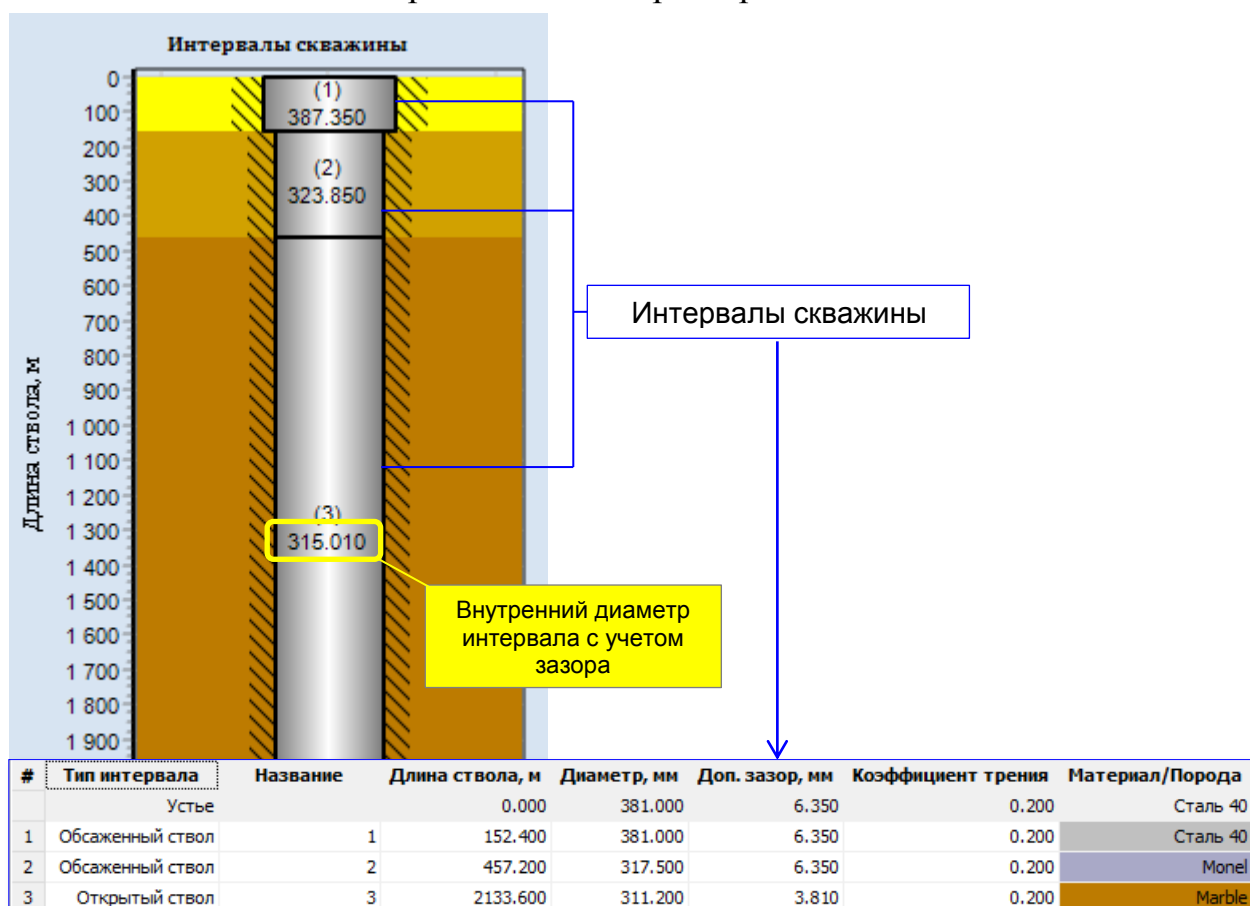
3.1.2. Конструкция скважины

Конструкция скважины описывается набором интервалов постоянного внутреннего радиуса, соответствующих участкам обсаженного и открытого ствола. Каждый интервал описывается следующим набором параметров:

- *Длина ствола*, соответствующая конечной точке интервала
Принимается, что начальная точка интервала соответствует конечной точке предыдущего интервала.
- *Внутренний диаметр* и *Дополнительный зазор*
При расчете диаметр скважины рассчитывается как сумма этих значений.
- *Коэффициент трения*, используемый по умолчанию в модели контакта бурильной колонны со скважиной.

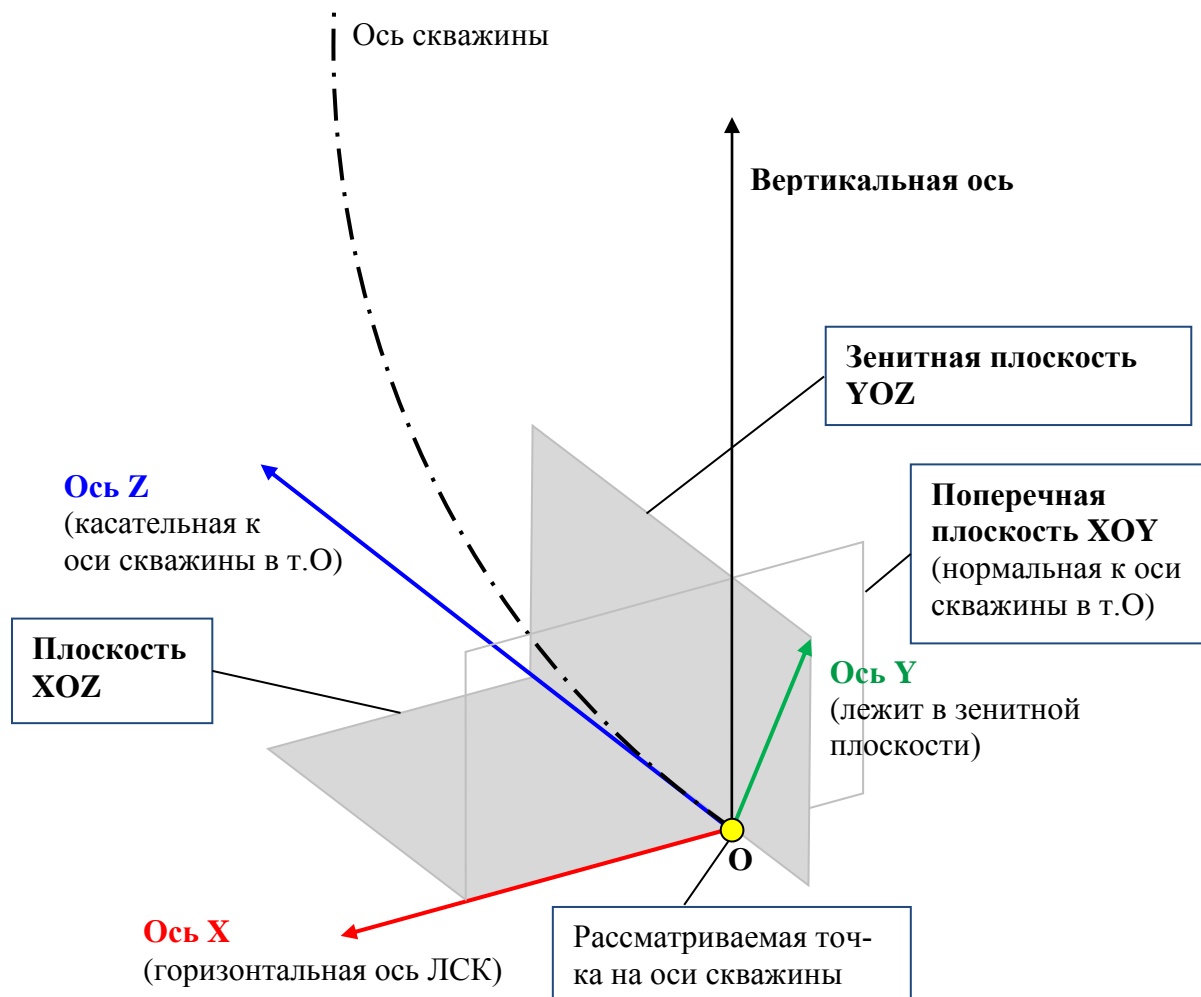
Примечание. Пользователь может использовать значения коэффициентов трения из описания скважины, либо их значения для отдельных групп деталей (стабилизаторы и прочие детали), а также значения, указанные при описании отдельных деталей (см. Раздел 3.6.2.2).

- *Материал* обсадной колонны, либо *Порода* задаются для автоматической оценки жесткости контактного взаимодействия (см. Раздел 3.6.2.2), а также описания гидравлических характеристик скважины.



3.1.3. Система координат скважины

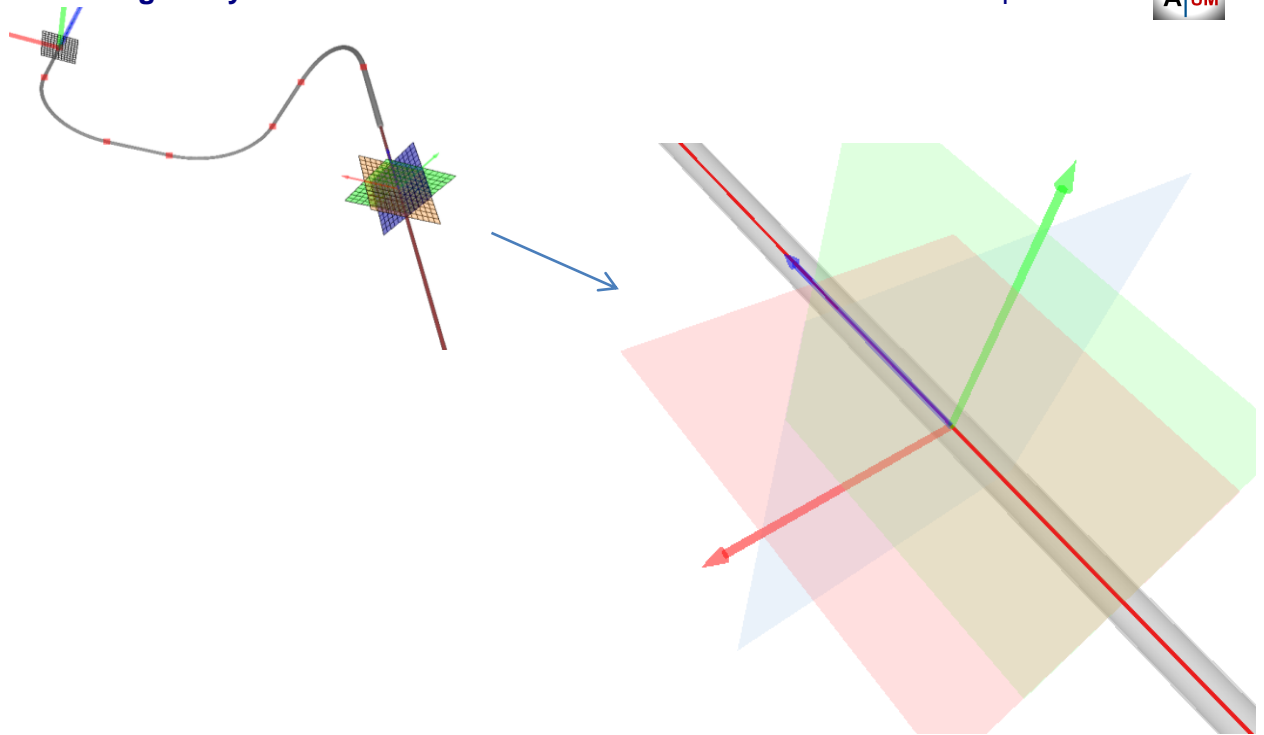
Для ориентации бурильного инструмента в скважине, описания граничных условий модели и представления результатов вводится понятие локальной системы координат скважины.



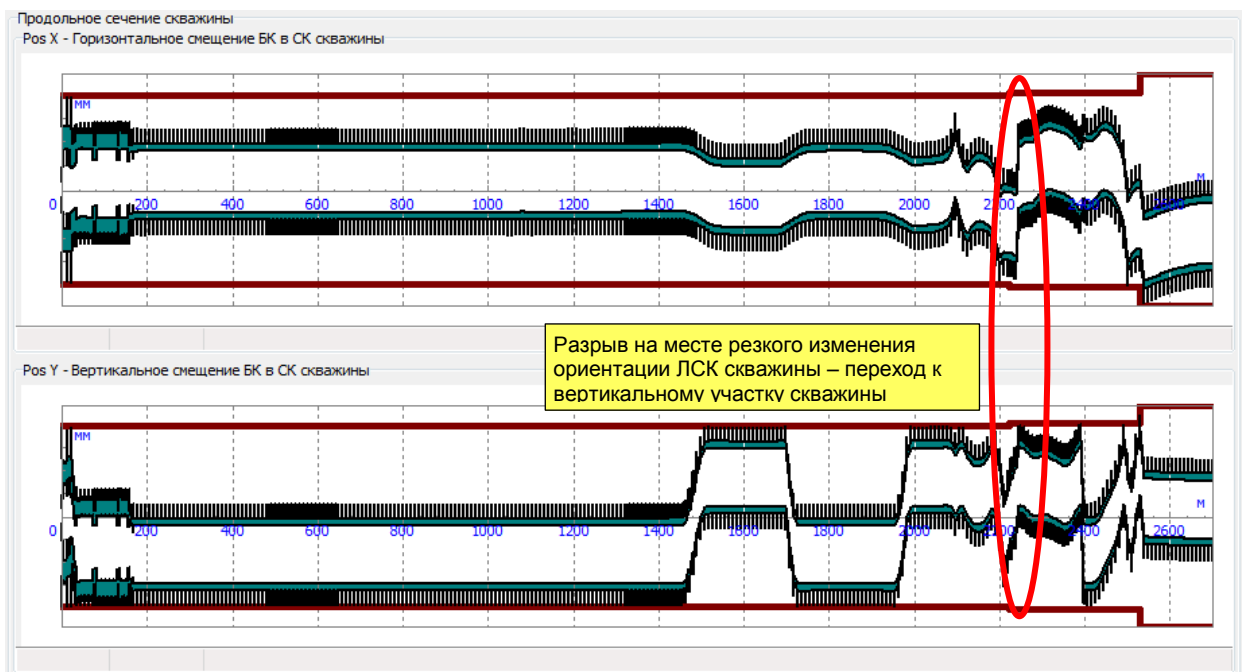
Для каждой точки на оси скважины вводится следующая локальная система координат:

- Ось Z – касательная к оси скважины в выбранной точке, направленная к поверхности (по уменьшению глубины);
- Ось Y – ось перпендикулярная к оси Z , лежащая в вертикальной плоскости;
- Ось X – ось перпендикулярная осям Z и Y , параллельная поверхности.

Примечание. Для вертикальных секций скважины применяется следующее правило: ось X – направление на географический Север, ось Y – на Запад.



Для отображения положения компоновки в скважине произвольной пространственной конфигурации применяются двумерные графики PosX и PosY. По оси ординат графиков откладываются, соответственно, проекции векторов смещения точек компоновки на оси X и Y ЛСК (ЛСК определяется в каждой точке компоновки); по оси абсцисс – расстояние от долота.



Примечание. При переходе от участка с уклоном к вертикальному участку скважины может происходить резкое изменение положения ЛСК, что приводит к возникновению разрывов на графиках Pos X и Pos Y.

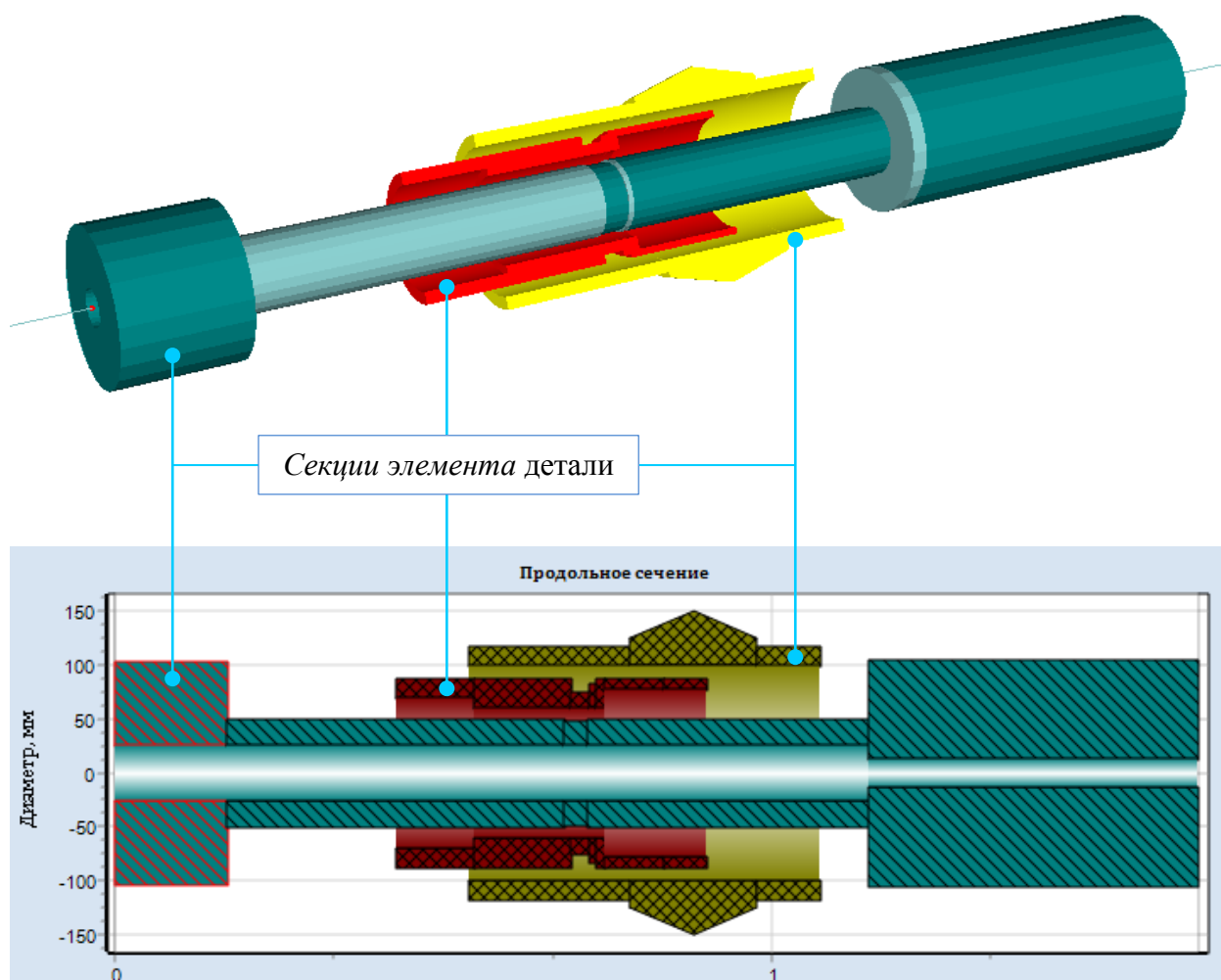
3.2. Модель детали бурильной колонны

Для учета геометрии, массы и функциональности различных типов оборудования, входящего в состав бурильной колонны, применяются обобщенное инженерное описание. На основании этого описания формируются математические модели компоновки, применяющиеся для различных типов анализа.

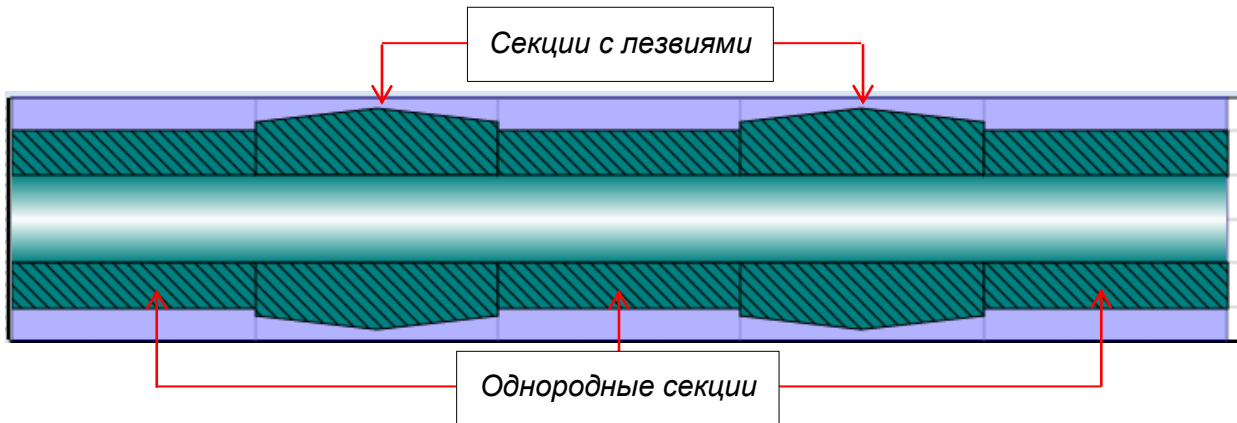
3.2.1. Инженерное описание детали

В рамках применяющейся модели бурильной колонны любая деталь представляется набором *Элементов* - отдельных частей детали, которые могут быть представлены произвольным набором секций различного типа (однородные секции, секции с лезвиями).

Для описания большинства деталей колонны – долот, бурильных труб, стабилизаторов и т.д. – применяется один элемент; модели с несколькими элементами применяются для описания систем управления направлением проходки (РУС) и построения подробных моделей напорных двигателей.

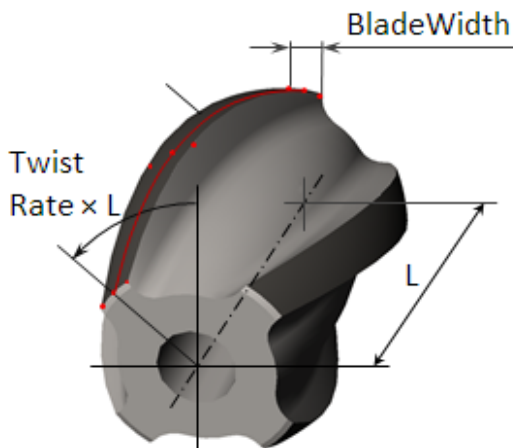


В соответствии с обобщенным подходом простые детали, состоящие из одной трубы, описывается произвольной последовательностью (от долота к верху) однородных секций и секций с лезвиями.



3.2.1.1. Секции с лезвиями

Для описания *секции с лезвиями* используется следующая унифицированная модель.



Параметр	Значение	Единицы
Длина секции	1.000	м
Макс. диаметр	250.000	мм
Число лезвий	4	
Модель контакта	Окружность - Цилиндр	
Число конт. окр.	1	
Радиус прод. сечения	100.00	м
Ширина лезвий	0.000	мм
Точек по ширине лезвия	1	
Угол закручивания	0.000	град/м
Направл. закручивания	По часовой	

Параметр	Описание
Длина секции	Длина секции с лезвиями.
Макс. диаметр	Максимальный контактный диаметр для стабилизатора.
Число лезвий	Данный параметр напрямую используется при формировании модели секции только при использовании модели контакта «Точки-Цилиндр». В противном случае параметр используется для автоматического описания силовых возмущений на стабилизаторах, возникающих при вращении детали в скважине.
Модель контакта и Число контактных окружностей	Для описания взаимодействия секций колонны со стенками скважины применяются дискретные контактные силовые элементы. Силовой элемент описывает силы, возникающие при внедрении сечения элемента (окружности или набора

	<p>точек в поперечной плоскости) в цилиндрическую поверхность, описывающую геометрию скважины. Для модели стабилизатора можно задать число контактных сил вдоль оси сечения, а также выбрать один из двух типов контактного взаимодействия.</p> <ul style="list-style-type: none"> • «Окружность-Цилиндр» Окружность задается в сечении секции (см. 3.3.1). • «Точки-Цилиндр» Точки автоматически добавляются в плоскости поперечного сечения секции (см. 3.3.2).
<p>Радиус продольного сечения</p>	<p>Радиус огибающей окружности для продольного сечения стабилизатора; центр окружности – максимальный контактный диаметр – располагается в вредной плоскости секции.</p>
<p>Ширина лезвий, Точек по ширине лезвия, Угол / Направление закручивания</p>	<p>Параметры доступные при использовании модели контакта типа «Точки-Цилиндр», определяющие число и положение контактных точек на лезвии.</p>

The diagram shows a 3D model of a drillstring stabilizer. The top part shows the full model with a red vertical line indicating a force plane. The bottom part shows a longitudinal section with red vertical lines representing force planes and a purple arrow indicating the radius of the longitudinal section.

Параметр	Значение	Единицы
Длина секции	0.610	м
Макс. диаметр	305.000	мм
Число лезвий	3	
Модель контакта	Окружность - Цилиндр	
Число конт. окр.	1	
Радиус прод. сечения	100.00	м
Ширина лезвий	0.000	мм
Точек по ширине лезвия	1	
Угол закручивания	0.000	град/м
Направл. закручивания	По часовой	

Параметр	Значение	Единицы
Длина секции	0.610	м
Макс. диаметр	305.000	мм
Число лезвий	3	
Модель контакта	Окружность - Цилиндр	
Число конт. окр.	5	
Радиус прод. сечения	2.50	м
Ширина лезвий	0.000	мм
Точек по ширине лезвия	1	
Угол закручивания	0.000	град/м
Направл. закручивания	По часовой	

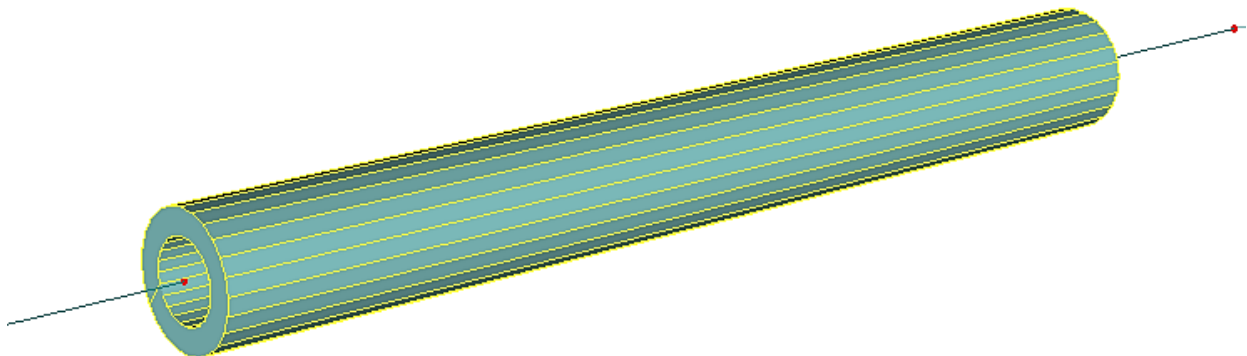
Для корректного описания моделей для большинства типов анализа, реализованных в UM Drillstring Analysis, достаточно использовать наиболее простое описание геометрии стабилизатора – модель по умолчанию.

Модели с множеством контактных плоскостей, модель контакта «*Точки-Цилиндр*» и соответствующие параметры применяются, при необходимости, для подготовки подробных моделей стабилизаторов для **Анализа динамики колонны**.

3.2.1.2. Однородные секции

Геометрия *однородной секции* определяется ее длиной и наружным/внутренним диаметром; инерционные и жесткостные характеристики секции автоматически вычисляются, исходя из заданной геометрии и свойств материала, назначенного для секции.

Примечание. Интерфейс приложения позволяет при необходимости задать погонный вес или массу, а также изгибную, крутильную и осевую жесткость секции.



Для стандартного описания взаимодействия со стенками скважины применяется модель контакта типа «*Окружность-Цилиндр*» (см. Раздел 3.3.1).

Примечание. Пользователь может выбрать специальные типы взаимодействия со скважиной для верхней точки секции (см. Раздел 3.2.1.4).

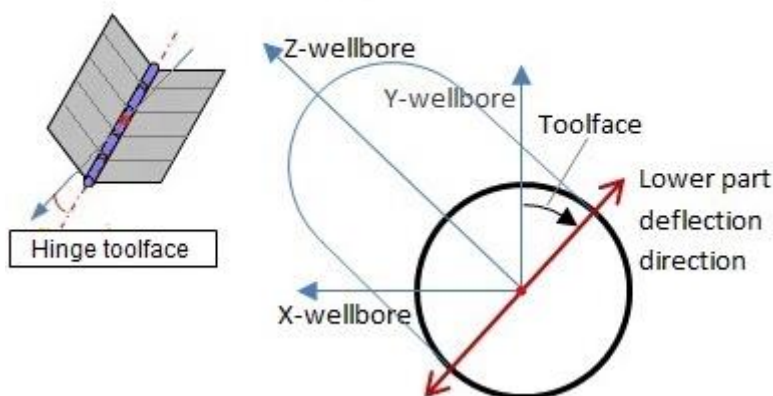
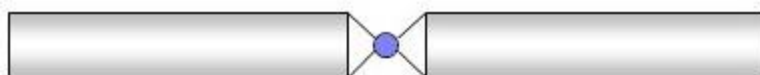
3.2.1.3. Соединения секций элемента детали

Для описания различных типов деталей (от долот до упрощенных моделей напорных двигателей, вибродемпферов и пр.) для верхней точки секции элемента предусмотрена возможность выбрать один из нескольких типов соединений:

- **Неразрывное соединение:** секция составляет единое целое со следующей.



- **Шарнир (петля):** соединение секции со следующей посредством вращательного шарнира.



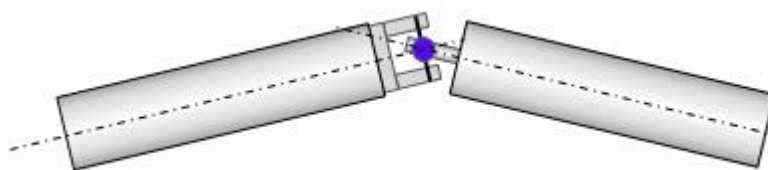
Параметр	Значение	Единицы	Управление
Направление	0.0	град	Да

Контроль ориентации

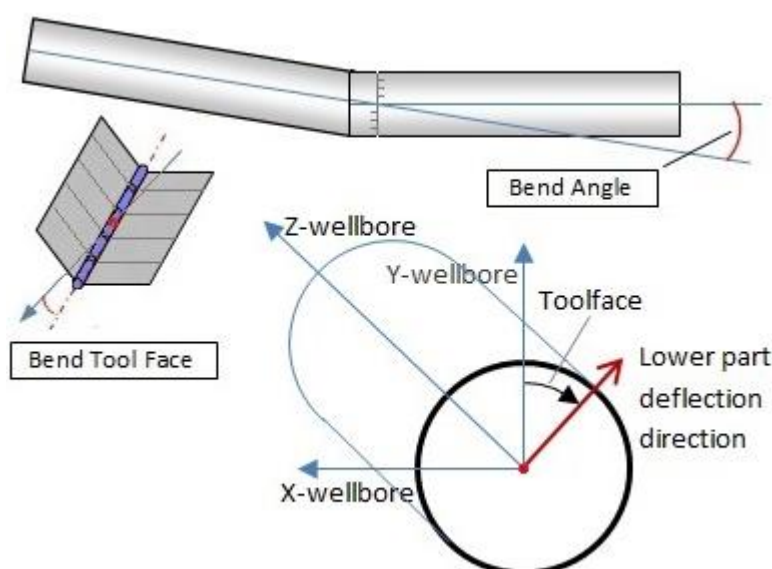
Ориентация оси шарнира в поперечной плоскости определяется параметром **Направление (Toolface)** – направлением отклонения нижней секции от оси Y локальной системы координат скважины (см. 3.1.3).

Опция **Контроль ориентации** активирует режим удержания заданного положения оси шарнира относительно локальной системы координат скважины в процессе моделирования движения колонны в скважине.

- **Карданный шарнир:** соединение со следующей секцией посредством шарнира Кардана – шарниром, передающим крутящий момент при малых относительных поворотах секций между собой.



- **Соединение С изгибом:** следующая секция соединяется под углом (аналогично соединению типа Шарнир) – отклонение секции задается двумя параметрами – **Направление (Toolface)** и **Угол отклонения (BendAngle)**.



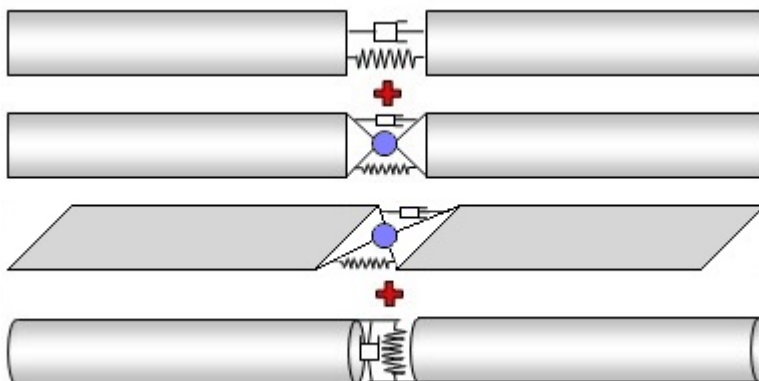
Параметр	Значение	Единицы	Управление
Направление	0.0	град	Нет
Угол отклонения	0.00	град	Нет

Контроль ориентации

Внимание. Контроль ориентации необходимо деактивировать в том случае, если необходимо учитывать возможный поворот оси отклонения нижней секции в процессе моделирования.

Данная ситуация встречается в **Анализе динамики колонны**, если соединение **С изгибом** применяется для описания отклоняемой части напорного двигателя, и рассматривается вращение колонны от поверхности.

- **Упругое соединение:** соединение посредством линейного упруго-диссипативного силового элемента. Элемент описывает возникновение восстанавливающей силы/момента при относительных смещениях/поворотах начала следующей секции относительно крайней точки текущей.



Параметр	Значение	Единицы	Управление
Осевая жесткость	1.11932E0009	кН/м	Нет
Жесткость на сдвиг	1.32696E0009	кН/м	Нет
Изгибная жесткость	221877.0000	кН*м/град	Нет
Крутильная жесткость	42668.7000	кН*м/град	Нет
Козф. демпф. осевой	5.0000		Нет
Козф. демпф. на сдвиг	5.0000		Нет
Козф. демпф. на изгиб	5.0000		Нет
Козф. демпф. на кручение	5.0000		Нет

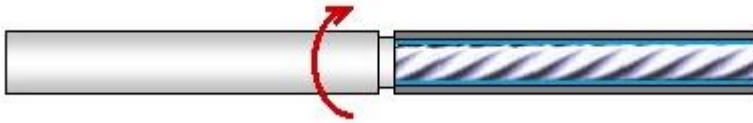
По умолчанию значения **Осевой / Сдвиговой / Изгибной / Крутильной жесткости** рассчитываются по характеристикам соединяемых секций; при необходимости параметры могут быть заданы вручную.

Коэффициент демпфирования позволяет задать рассеяние энергии в упруго-диссипативном элементе. При нулевом коэффициенте демпфирования затухание колебаний не происходит; при слишком высоком значении – колебательный процесс вырождается в аperiodическое движение.

Диссипация в элементе рассчитывается по заданной жесткости, инерционным параметрам соединяемых секций, и коэффициенту, выступающему в роли доли демпфирования от критического.

Примечание. В колебательном процессе участвует не только примыкающие секции, поэтому инерция оказывается недооцененной, и значения коэффициента превышают 1.0.

- **Забойный двигатель:** соединение, обеспечивающее вращение нижней секции вокруг продольной оси относительно верхней, с заданной угловой скоростью.



Тип описания забойного двигателя

Частота вращения
 Скорость потока

Параметр	Значение	Единицы	Управление
Число лезвий ротора	3.0000		Нет
Скорость вращения	0.0000	об/мин	Да
Эксцентриситет	10.0000	мм	Нет
Интегр. коэф. контроля скорости	15000.0000	Н*м/рад	Нет
Пропорц. коэф. контроля скорости	200000.0000	(Н*м)/(рад/сек)	Нет

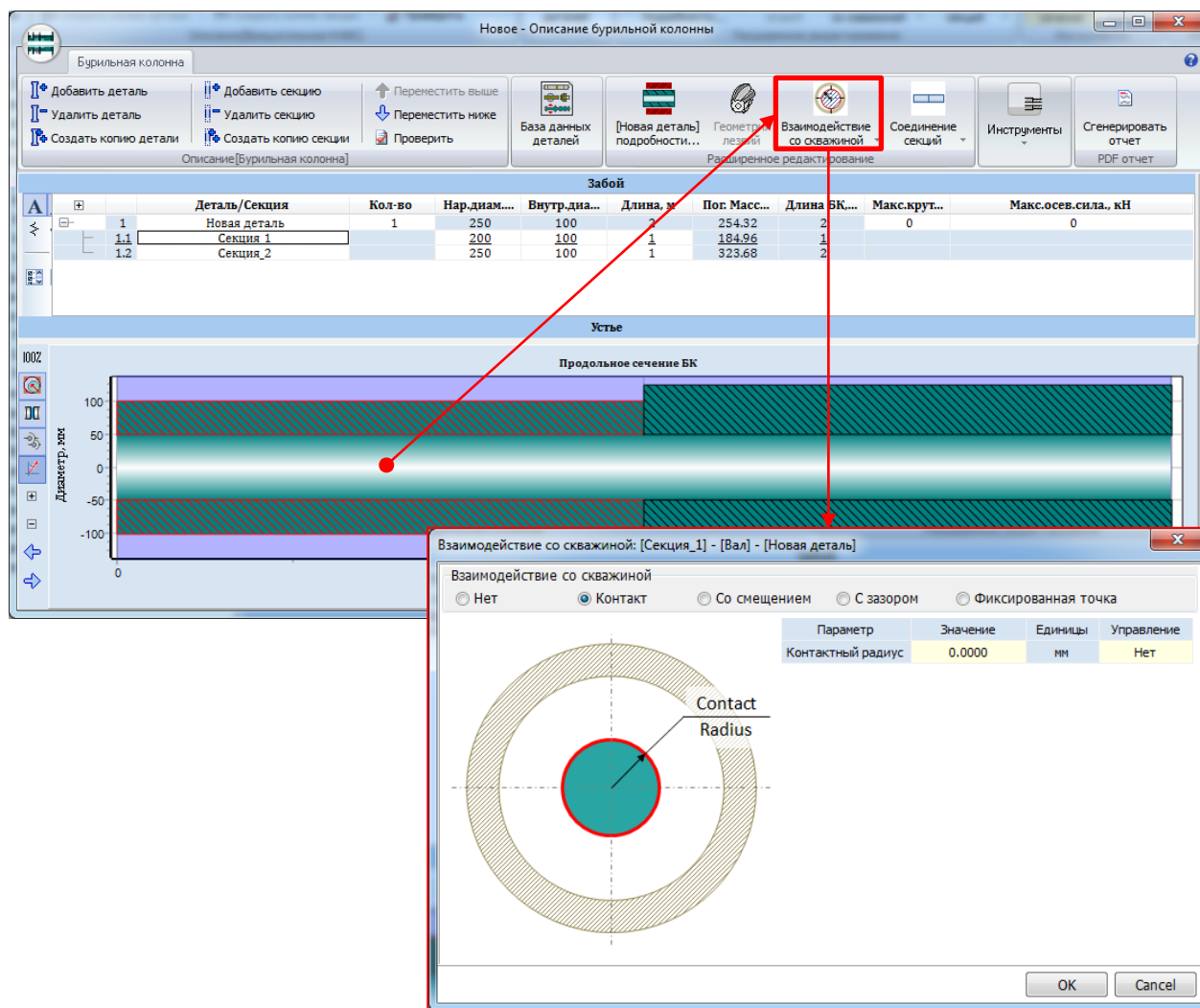
Необходимую скорость вращения можно задать напрямую (опция **Частота вращения**), либо через **Скорость потока** (с пересчетом в скорость вращения через постоянный коэффициент).

Примечание. По умолчанию **Скорость вращения** является управляемым параметром – его значение можно варьировать при описании сценария, не изменяя описание компоновки.

Для контроля скорости вращения используется силовой элемент, создающий крутящий момент между секциями пропорциональный расхождению реальной скорости вращения с заданным значением (**Пропорциональный коэффициент контроля скорости**), а также расхождению реального угла поворота нижней секции относительно верхней со значением, вычисленным по заданной скорости и времени интегрирования (**Интегральный коэффициент контроля скорости**).

3.2.1.4. Специальные типы взаимодействия секции со стенками скважины

Для отработки различных схем инструментов управления направлением проходки и решения нестандартных задач в приложении UM Drillstring Analysis реализованы несколько вариантов специального взаимодействия секции со скважиной, которые могут быть заданы для верхней точки секции.

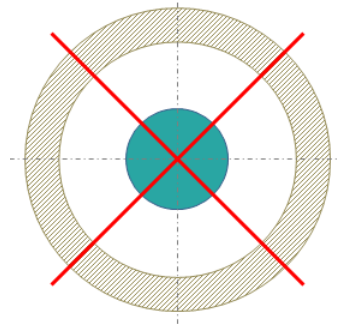


Примечание. При формировании модели протяженные однородные секции делятся на подсекции в соответствии с настройками разбивки (см. 3.2.1.5); стандартные силы взаимодействия со скважиной добавляются в сечениях, соответствующих соединениям секции/подсекций (см.).

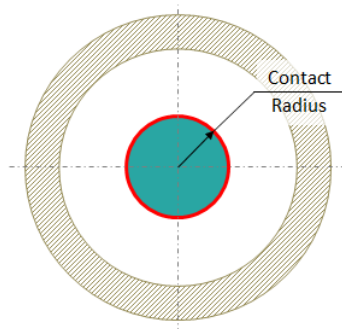
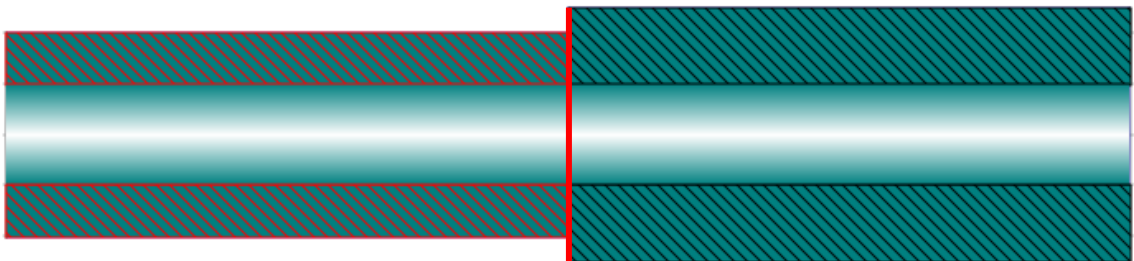
Специальные типы взаимодействия могут быть заданы только в точках соединения секций – для верхней точки рассматриваемой секции.

Для описания нестандартных моделей элементов бурильной колонны в приложении предусмотрена возможность выбора различных типов взаимодействия:

- **Нет взаимодействия:** контактное взаимодействие для данного сечения секции не учитывается; сечение может внедряться в стенку скважины без возникновения контактных сил.

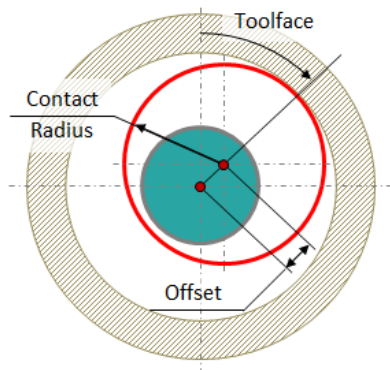


- **Стандартный контакт:** в сечении секции добавляется контактная сила типа «Окружность-Цилиндр» (см. 3.3.1). Радиус контактной окружности на сечении выбирается как максимальный внешний диаметр секций, соединяющихся в этом сечении.



Параметр	Значение	Единицы	Управление
Контактный радиус	0.0000	мм	Нет

- **Контакт со смещением:** в сечении добавляется контактная сила типа «Окружность-Цилиндр» (см. 3.3.1), при этом допускается **Смещение** центра контактной окружности относительно центральной точки сечения по заданному **Направлению**. Пользователь может также задать радиус окружности – **Контактный радиус**.



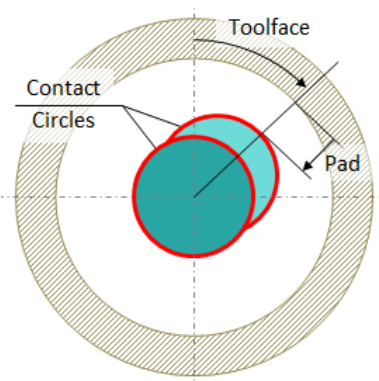
Параметр	Значение	Единицы	Управление
Контактный радиус	0.0000	мм	Нет
Смещение	0.0000	мм	Нет
Направление	0.0	град	Нет

Контроль ориентации

Внимание. Контроль ориентации – контроль **Направления** при вращении сечения вокруг осевой линии – активирован по умолчанию. При повороте сечения **Направление** смещения центра контактной окружности остается постоянным с локальной системе координат скважины (см. Раздел 3.1.3).

- **Контроль минимального зазора:** в сечении добавляется пара контактных сил типа «Окружность-Цилиндр» (см. 3.3.1); радиусы контактных окружностей берутся по максимальному внешнему радиусу соединяемых секций.

Центр контактной окружности первой силы расположен на оси секции, центр второй может быть смещен по заданному **Направлению** относительно локальной системы координат скважины (см. Раздел 3.1.3). Величина смещения выбирается автоматически по заданному значению минимально допустимого **Зазора** между поверхностью секции и стенками скважины.

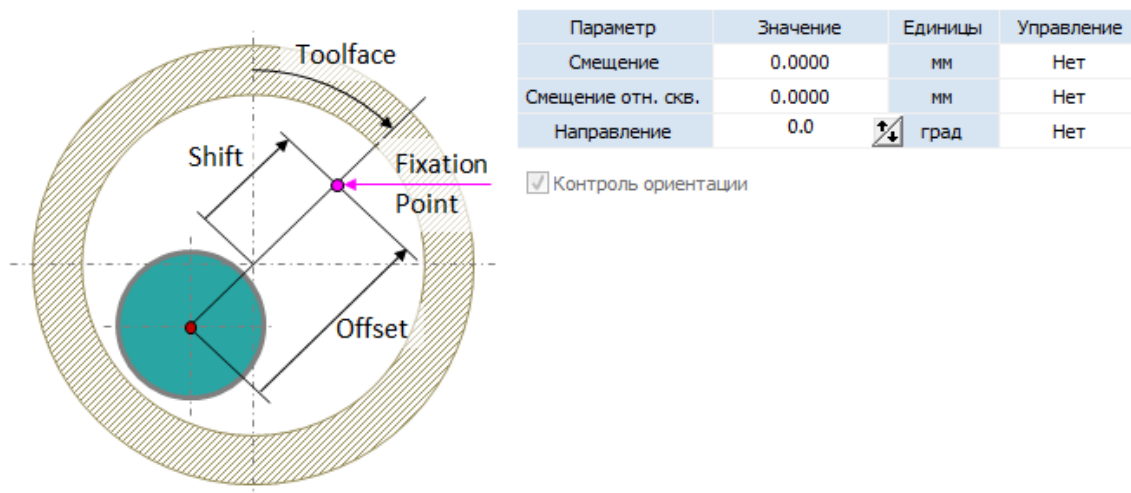


Параметр	Значение	Единицы	Управление
Контактный радиус	0.0000	мм	Нет
Зазор	0.0000	мм	Нет
Направление	0.0	град	Нет

Контроль ориентации

- **Фиксированная точка:** введение силового элемента, жестко привязывающего точку сечения к точке скважины.

Положение точки в сечении задается **Направлением** и **Смещением**, положение точки в локальной системе координат скважины – **Направлением** и **Смещением относительно скважины**.



3.2.1.5. Управляемые параметры

При описании специальных типов соединений секций и вариантов взаимодействия со скважиной часть параметров может быть отмечена как *Управляемые параметры*. Для этого необходимо активировать *Управление* в одноименном столбце таблицы параметров.

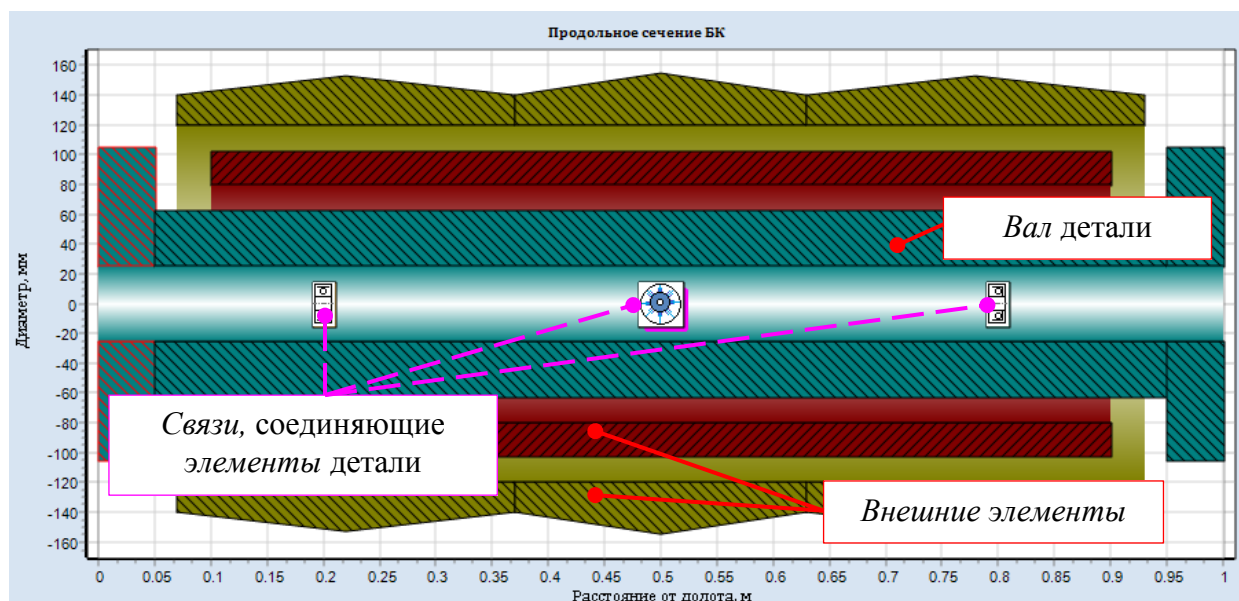
Значения *Управляемых параметров* доступны для редактирования при описании *Сценариев* для различных типов анализа. Т.е. для исследования нескольких вариантов компоновок, отличающихся только значениями данных параметров, нет необходимости создавать множество описаний компоновок – достаточно задать необходимые значения при описании сценариев.

3.2.1.6. Настройки дискретизации для элемента детали

При формировании модели протяженные однородные секции делятся на подсекции в соответствии с настройками разбивки (см. Раздел 3.2.1.5); силы взаимодействия со скважиной добавляются в сечениях, соответствующих соединениям секции/подсекций.

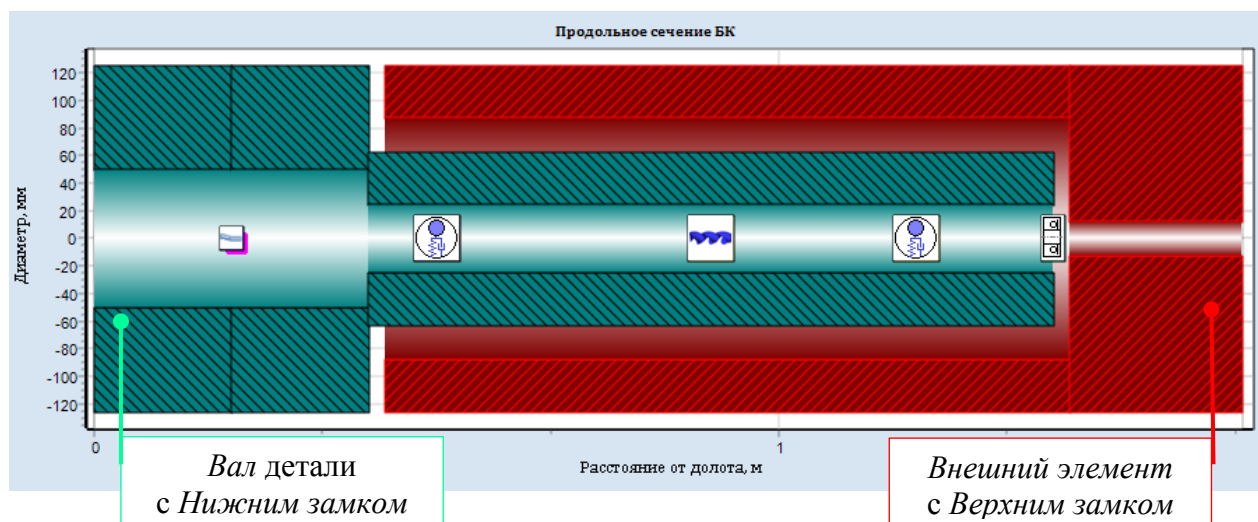
3.2.2. Описание составных деталей

Если деталь включает несколько *элементов* – между ними задаются кинематические и силовые *связи* (шарнирные соединения, подшипниковые узлы, системы позиционирования и пр.), см. Раздел 3.2.2.2.



3.2.2.1. Элементы составной детали

По умолчанию, первый (для простых деталей - единственный) элемент детали рассматривается как *Вал* – элемент, через который передается крутящий момент от поверхности к долоту.

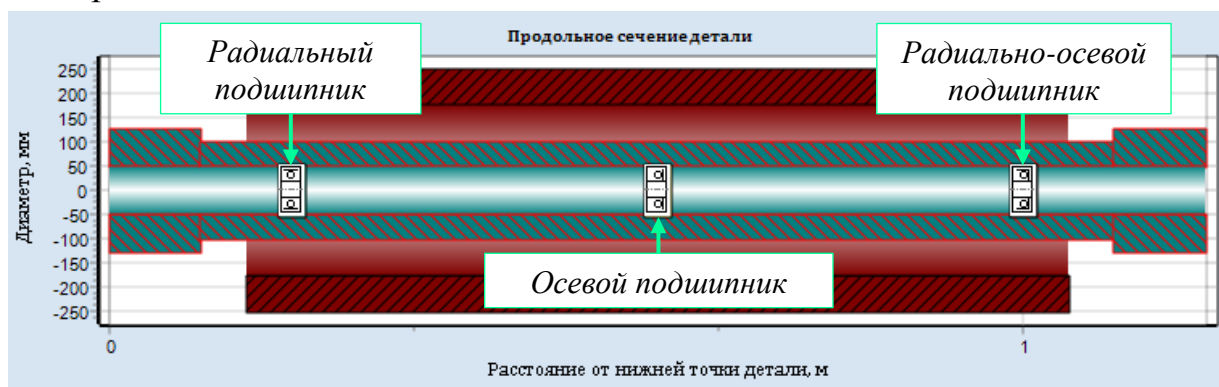


Примечание. В подробной модели напорного двигателя крутящий момент с верхней части колонны передается на нижнюю через силовой элемент, описывающий момент между валом и оболочкой двигателя. Для описания таких деталей предусмотрена возможность выбора элементов для *нижнего* и *верхнего замков* детали – элементов, к которым присоединяются, соответственно, нижняя и верхняя детали компоновки.

3.2.2.2. Связи элементов составной детали

Для описания взаимодействия внешних элементов детали с валом, либо между собой применяются следующие типы связей.

- **Радиальный подшипник:** соединение двух элементов, допускающее только вращение и смещение вдоль продольной оси.
- **Радиально-осевой подшипник:** соединение двух элементов, допускающее только вращение вокруг продольной оси.
- **Осевой подшипник:** соединение двух элементов, допускающее только радиальные смещения.



- **Гидравлическая/Механическая система позиционирования:** соединение двух элементов, обеспечивающее поперечное смещение второго относительно первого в заданном **Направлении**.

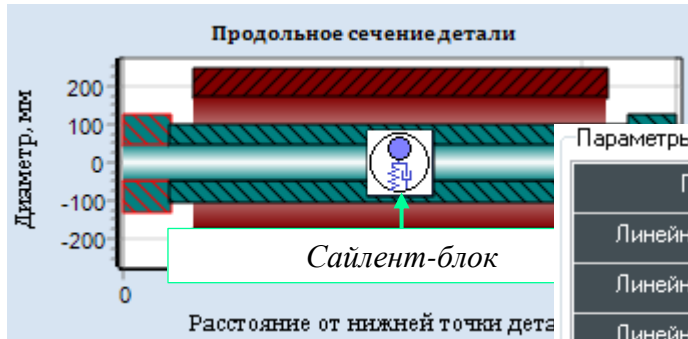
Величина смещения задается величинами **Максимальное отклонение** и **Отклонение %**.

Связь по умолчанию является элементом управления – величины **Отклонение %** и **Направление** являются управляемыми параметрами, доступными для редактирования при описании сценариев.

The diagram shows a longitudinal section of a part with a diameter of 200 mm. A positioning system (Система позиционирования) is shown at approximately 0.5 m. The parameter table is as follows:

Параметры		
<input checked="" type="checkbox"/> Элемент управления		
Параметр	Значение	Единица
Макс. отклонение	100	мм
Отклонение%	100	
Направление	0	град

- **Сайлент-блок:** соединение двух элементов упруго-диссипативным линейным силовым элементом, обеспечивающим возникновение сил и/или моментов при взаимных смещениях и/или поворотах соединяемых элементов.



Параметры

Параметр	Значение	Единица
Линейная жесткость X	1E05	кН/м
Линейная жесткость Y	1E05	кН/м
Линейная жесткость Z	1E05	кН/м
Угловая жесткость X	1.7453	кН*м/град
Угловая жесткость Y	1.7453	кН*м/град
Угловая жесткость Z	1.7453	кН*м/град
Линейное демпфирование X	10	кН/(м/сек)
Линейное демпфирование Y	10	кН/(м/сек)
Линейное демпфирование Z	10	кН/(м/сек)
Угловое демпфирование X	0.017453	(кН*м)/(град/сек)
Угловое демпфирование Y	0.017453	(кН*м)/(град/сек)
Угловое демпфирование Z	0.017453	(кН*м)/(град/сек)

- **Винтовой забойный двигатель:** соединение элементов, второй из которых осуществляет вращение вокруг продольной оси с заданной угловой скоростью.



Параметры

Тип описания забойного двигателя

Частота вращения Скорость потока

Параметр	Значение	Единица
Число лезвий ротора	3	
Эксцентриситет	10	мм
Скорость вращения	0	об/мин

Параметры

Тип описания забойного двигателя

Частота вращения Скорость потока

Параметр	Значение	Единица
Число лезвий ротора	3	
Эксцентриситет	10	мм
Скорость потока	0	л/мин
Передаточное число	0.01	rpm/rpm

Скорость вращения задается либо напрямую (при использовании описания через **Частоту вращения**), либо **Скоростью потока** и **Передаточным числом** (при использовании описания через **Скорость потока**).

Параметры **Число лезвия ротора** и **Эксцентриситет** используются для автоматического расчета параметров силового инерционного возмущения, учитывающего движение ротора напорного двигателя при *Анализе динамики колонны*.

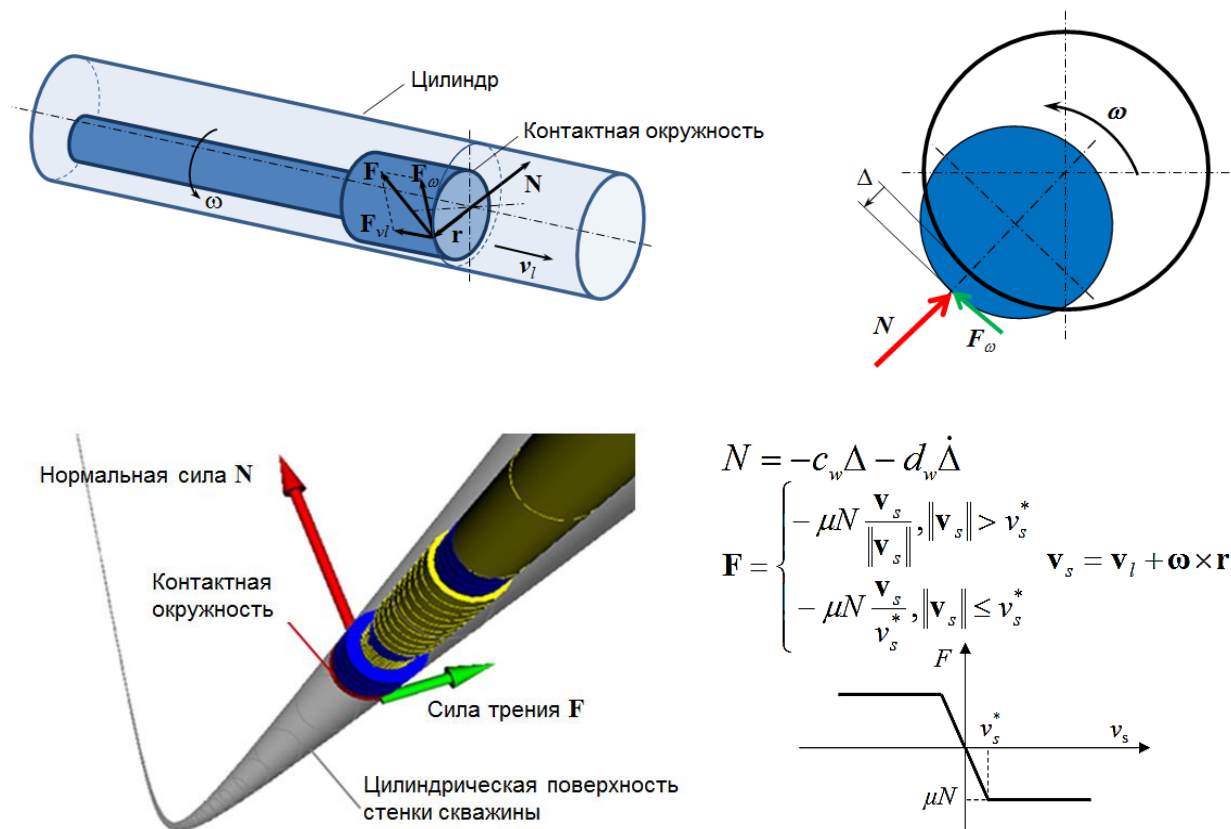
Внимание. Для корректного решения задачи определения равновесного положения компоновки необходимо, чтобы все элементы были связаны с валом (частями вала) напрямую либо через другие элементы. Программа не контролирует корректность описания связей.

3.3. Модели контактного взаимодействия со стенками скважины

Контактное взаимодействие элементов компоновки колонны со скважиной описывается набором дискретных силовых элементов двух типов – окружность-цилиндр и точки-цилиндр. Контактные силы описывают возникновение упруго-диссипативной нормальной силы и силы трения при проникновении окружности/точек, связанных с сечением секции элемента колонны, в поверхность скважины, описываемой цилиндрической поверхностью.

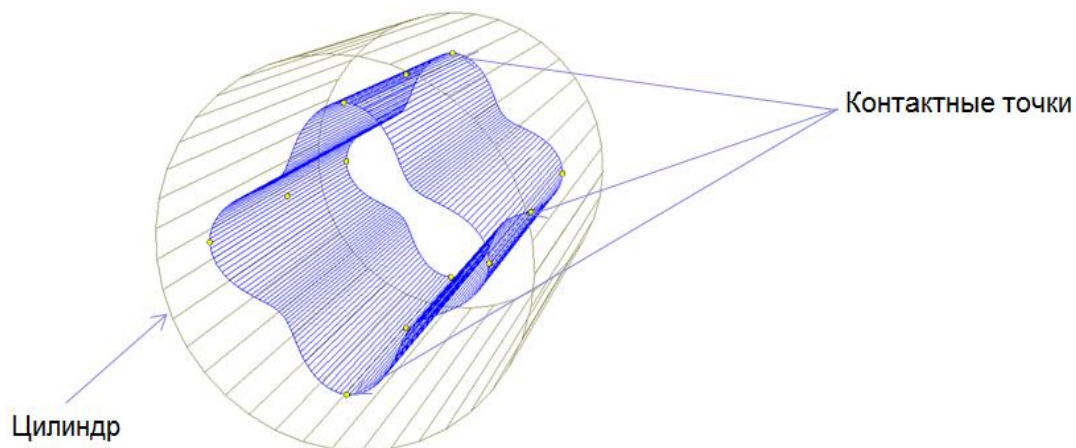
3.3.1. Контакт типа «Окружность - Цилиндр»

Силовой элемент предназначен для моделирования контакта окружности с круговым цилиндром, ось которого задана гладкой кривой. Предполагается, что кривая, задающая ось цилиндра, пересекает плоскость окружности под углом, отличающимся от прямого не более чем на 30°. Используется модель податливого контакта, то есть нормальная сила зависит от глубины и скорости внедрения.

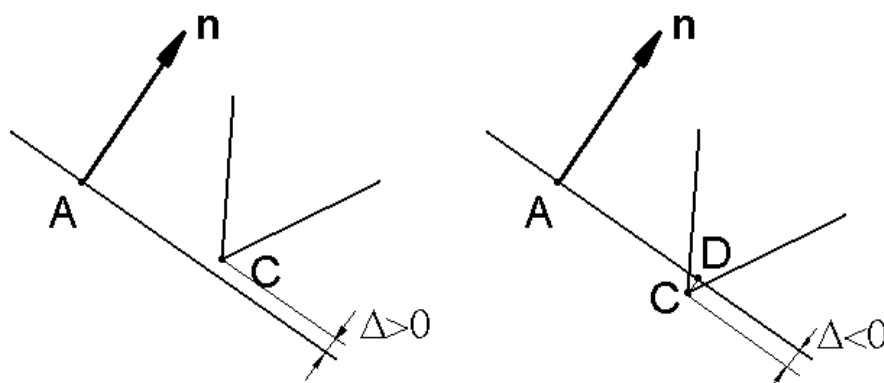


3.3.2. Контакт типа «Точки - Цилиндр»

Силовой элемент используется для моделирования контактного взаимодействия пары тел, при котором с одним (первым) телом связывается набор точек, а с другим (вторым) – цилиндрическая поверхность, ось которой описывается гладкой кривой, а диаметр – функцией длины данной кривой. Контактные точки задаются в системе координат упругого тела, соответствующего секции целиком или ее части.



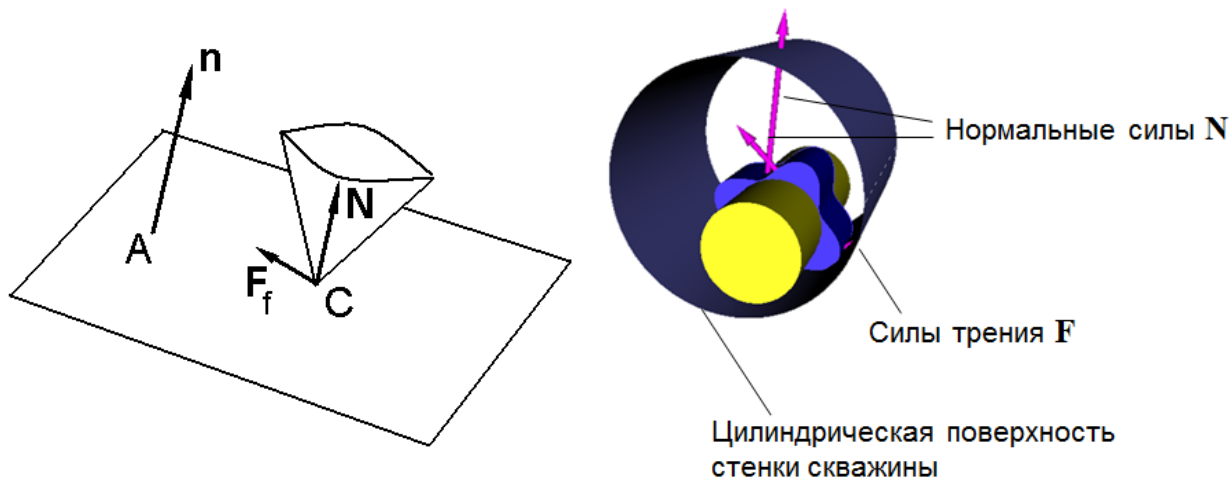
Контактные силы при взаимодействии отдельной точки с поверхностью равны нулю, если расстояние Δ между точкой и поверхностью положительное (нет контакта, слева). При $\Delta < 0$ (справа) возникает сила взаимодействия, имеющая две составляющие: нормальную реакцию N , направленную по нормали к поверхности (центру окружности – поперечного сечения скважины) N , и силу трения F_f , направленную по касательной к поверхности в точке контакта.



Для нормальной реакции используется следующая линейная вязко-упругая модель:

$$N = -c\Delta - d\dot{\Delta};$$

причем, если получаемое значение оказывается отрицательным, нормальная реакция полагается равной нулю (отсутствие прилипания). В формуле c , d – постоянные коэффициенты жесткости и диссипации контактного взаимодействия.



Для кулоновской силы трения реализованы два режима: скольжения и сцепления. В режиме скольжения математическая модель силы следующая:

$$F_f = -fNv_s/\|v_s\|,$$

где v_s – вектор скорости скольжения (проекция на касательную плоскость скорости точки С относительно тела 2), f – коэффициент трения скольжения. Переход от режима скольжения к режиму сцепления осуществляется, когда скорость скольжения меняет свое направление на “противоположное”.

В режиме сцепления используется следующая модель (соотношение задано в СК второго тела):

$$F_f = F_g - c(r_g - r_{g0}) - dv_s,$$

где r_g – текущее значение вектора AD. Таким образом, при переходе к сцеплению точка контакта С “привязывается” к контактной плоскости линейным упруго-диссипативным элементом. Сила F_g в формуле обеспечивает непрерывность изменения силы трения при переходе от скольжения к сцеплению.

Режим сцепления заканчивается при достижении силой трения предельного значения, то есть при выполнении условия

$$\|F_f\| > f_0N,$$

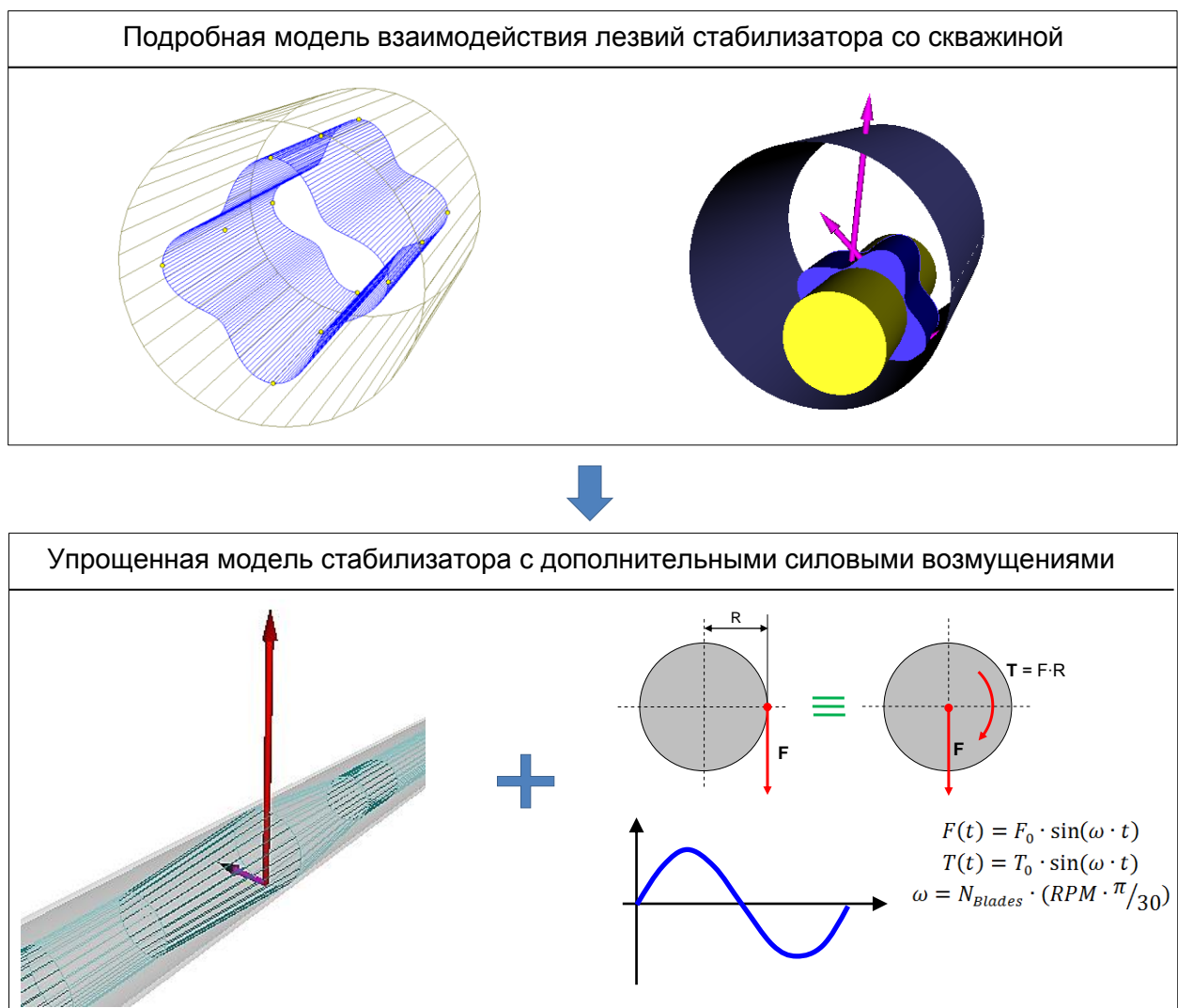
где f_0 – коэффициент трения покоя, $f_0 > f$.

3.4. Модели силовых возмущений

Силовые возмущения могут использоваться для описания воздействий на компоновку, обусловленных факторами не входящими в описание модели колонны для выбранного типа анализа.

Так, например, при *Анализе динамики колонны* силовые возмущения, возникающие при взаимодействии лезвий вращающегося стабилизатора со стенками скважины, могут быть учтены напрямую – с использованием подробной модели секции с лезвиями на базе контактного взаимодействия типа «Точки-Цилиндр» (см. Раздел 3.2.1.1).

С другой стороны, для упрощения модели и ускорения процесса моделирования возможно использование упрощенной модели стабилизатора на базе контактного взаимодействия типа «Окружность-Цилиндр», при этом силовые воздействия, возникающие с частотой пропорциональной числу лезвий стабилизатора и частоте вращения колонны, описать с помощью гармонического силового возмущения, приложенного в среднем сечении стабилизатора.



Описание силового возмущения

Силовое возмущение – сила или момент, зависящий от времени, – прикладывается к оси выбранной **Секции** выбранного **Элемента** детали. **Точка приложения** определяется **Расстоянием от нижней точки** детали либо **Расстоянием от долота**.

В выбранной точке компоновке может быть приложено возмущение одного из трех типов:

- **Сила**, приложенная в заданной точке (на оси секции)
- **Момент**, приложенный в заданной точке (на оси секции)
- **Инерционное** возмущение, задающее вращение вектора поперечной силы постоянной величины вокруг продольной оси секции.

Описание возмущений типа Сила и Момент

Для возмущений типа **Сила** и **Момент** задается направление вектора в локальной системе координат скважины – посредством выбора **Компоненты**, либо указанием проекции вектора на оси СК скважины.

Для линейного вибрационного анализа используются только гармонические возмущения, при описании граничных условий *Анализа динамики колонны* могут также использоваться возмущения, заданные произвольной функцией времени.

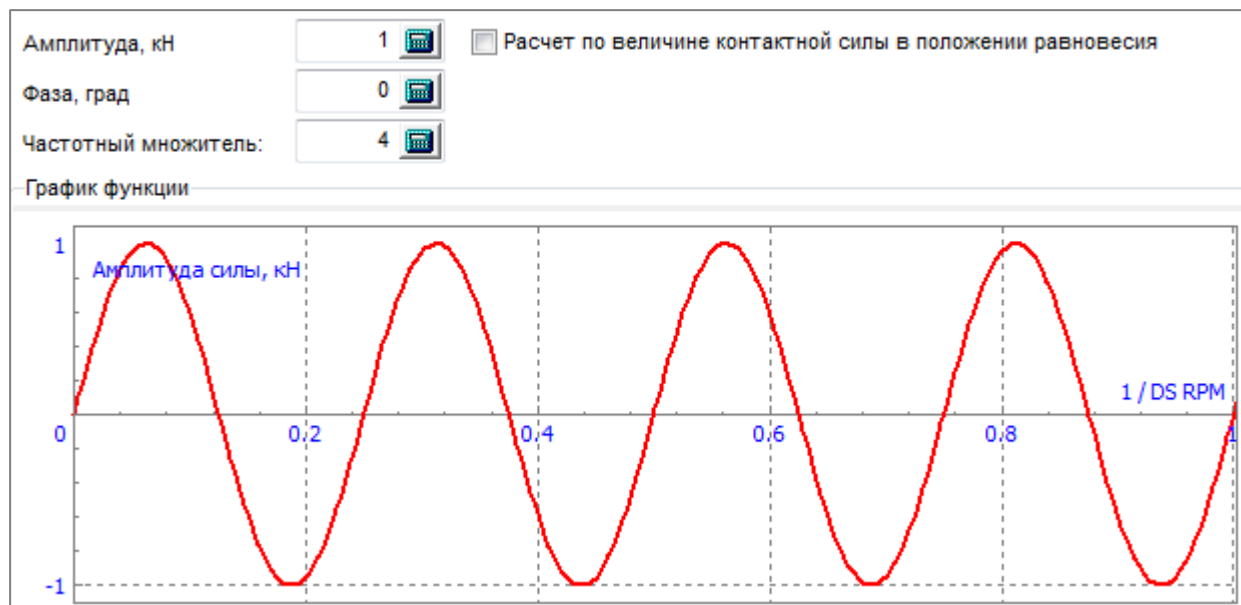
Гармоническое возмущение типа Сила/Момент описывается выражением:

$$F(t) = F_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + \quad), \quad T(t) = T_0 \cdot \sin(\omega \cdot t),$$

где

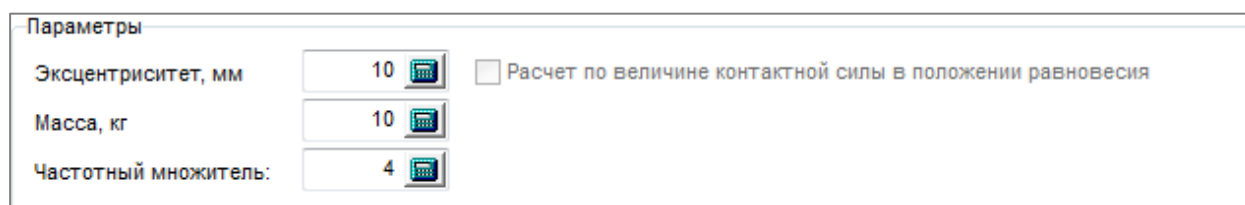
$$\omega = \text{FrequencyFactor} \cdot (\text{RPM} \cdot \pi / 30)$$

Амплитуды и фазы гармонических возмущений задаются пользователем. Для автоматического определения амплитуды вариации силы и момента на лезвиях стабилизатора (при использовании упрощенной модели) можно воспользоваться опцией **Расчет по величине контактной силы в положении равновесия**.



Описание Инерционного возмущения

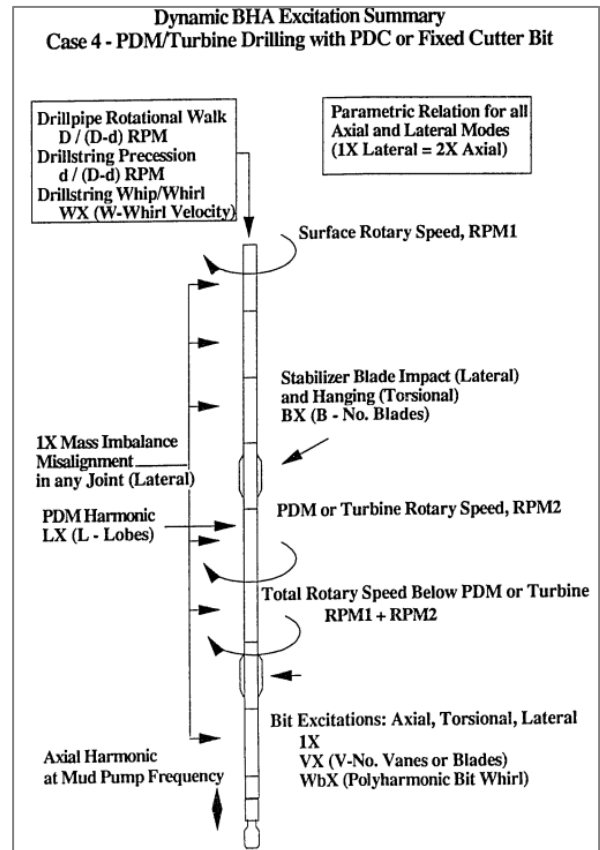
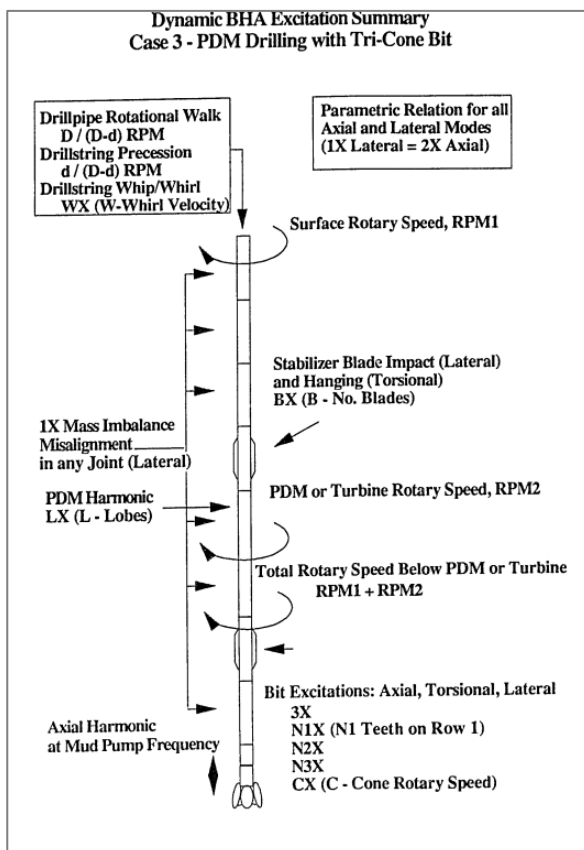
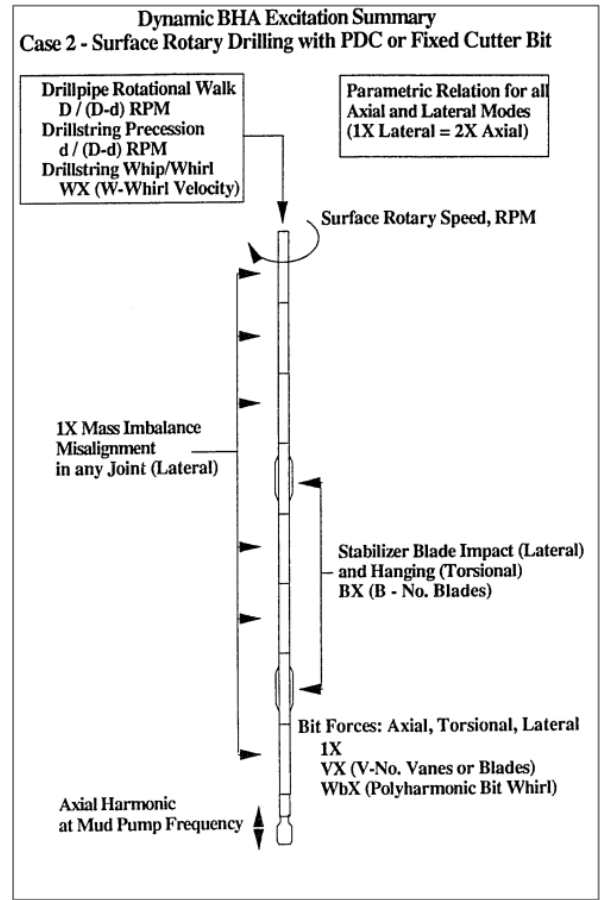
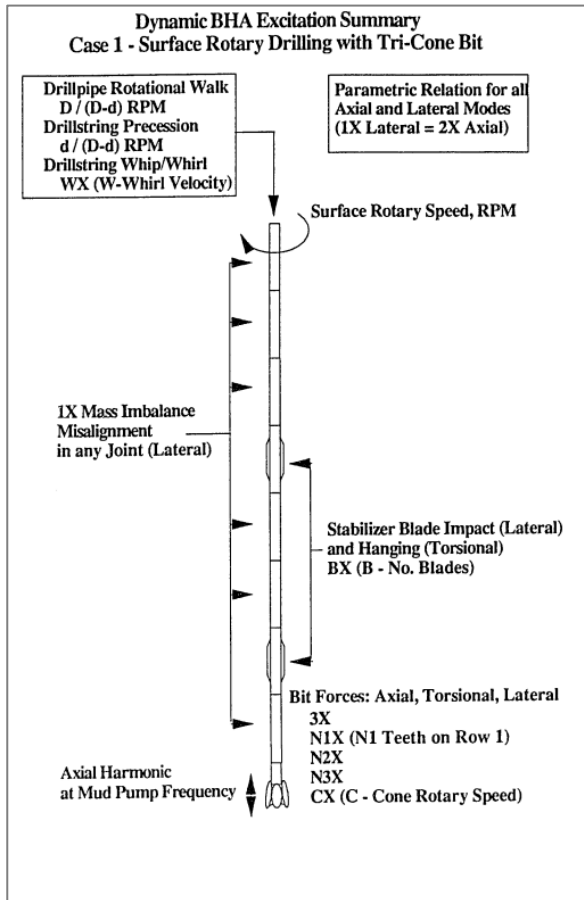
Инерционное возмущение применяется для описания воздействия, обусловленного наличием тела заданной **Массы**, вращающегося вокруг продольной оси компоновки с **Эксцентриситетом** (смещение центра масс тела относительно оси вращения).



Частотный множитель

Экспериментальные исследования [Рауне] показали, что частоты возмущений обусловленных взаимодействием элементов компоновки со стенками скважины и забоем, а также работой напорных двигателей пропорциональны скорости вращения элементов колонны. Для описания частот таких возмущений применяется **Частотный множитель**.



Примеры описания силовых возмущений действующих на различные компоновки бурильных колонн приведены на схемах ниже.



3.5. Модели резания породы

Для описания взаимодействия долота с забоем в рамках **Анализа динамики колонны** в UM Drillstring Analysis реализованы наиболее распространенные модели резания породы, адаптированные под специфику применяемых подходов.

Сводная информация по математическим моделям, применяемым для оценки сил и моментов, возникающих в процессе взаимодействия с забоем для долот различных типов, приведена в таблице.

	Крутящий момент	Осевая сила	Поперечные силы
<p>PDC долота</p> 	<p>Модель Detournay (R-G-D) с памятью положения забоя</p>		<p>Силы, возникающие при взаимодействии боковых резцов со стенками скважины.</p>
<p>Шарошечные долота</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Модель Taker-Wang • Добавка к крутящему моменту в виде “белого шума” 	<ul style="list-style-type: none"> • Контакт типа «точка – поверхность»¹; поверхность – гармоническая с наложением случайных неровностей. Модель Warren для зависимости силы на резе от глубины проникновения и твердости породы • Добавка к осевой силе в виде “белого шума” 	<p>Случайные боковые силы, в виде “белого шума” в диапазоне [-50, 50] Гц.</p>
<p><u>Перспективная модель:</u> Трехмерная твердотельная модель долота с шарошками, учитывающая силы резания на каждом резе.</p>			

¹ В упрощенном случае в осевом направлении нагрузка на долото определяется односторонней упруго-диссипативной контактной силой

$$G = \begin{cases} G_c = c_w \Delta + v_w d\Delta/dt, & \Delta > 0, G_c > 0 \\ 0, & \Delta < 0, G_c < 0 \end{cases}$$

где c_w , v_w – коэффициенты жесткости и демпфирования упруго-вязкого основания, Δ – глубина резания.

3.5.1. Модель Стрибека

Модель Стрибека применяется для описания момента сопротивления вращению долота как отдельно, так и в составе других моделей резания.

Модель описывается фрикционным моментом M_f и реализует два режима: скольжение и сцепление [10]. В режиме скольжения момент определяется формулой

$$M_f = -\mu(\omega_b)GR_b \frac{\omega_b}{|\omega_b|} = -mG \frac{\omega_b}{|\omega_b|},$$

Здесь R_b – радиус долота, $\mu(\omega_b)$ – коэффициент сопротивления вращению, зависящий от угловой скорости долота ω_b , $m = \mu R_b$ – удельный момент сопротивления [18-20].

Коэффициент сопротивления рассчитывается по такой же формуле, как и коэффициент трения, и является комбинацией экспоненциальной модели, учитывающей кривую Стрибека [21], и вязкого трения

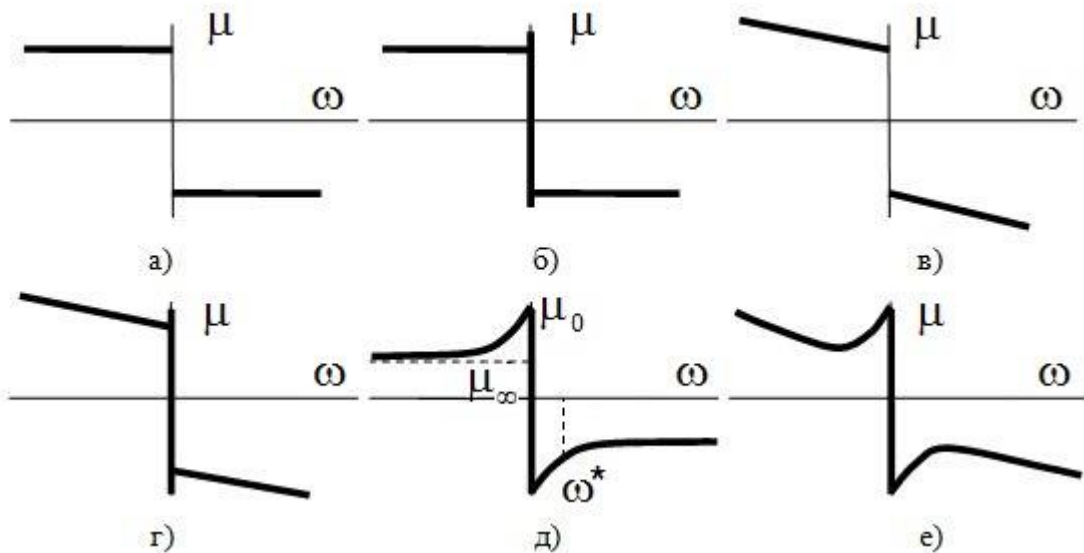
$$\mu(\omega) = \mu_\infty + (\mu_0 - \mu_\infty)e^{-\left(\frac{\omega}{\omega^*}\right)^\delta} + v\omega \quad (1)$$

В данной зависимости μ_0 - значение коэффициента сопротивления при нулевой угловой скорости (аналог коэффициент трения сцепления), μ_∞ - коэффициент сопротивления при бесконечной угловой скорости, ω^* – скорость Стрибека, определяющая величину интервала скорости проскальзывания, на которой имеет место эффект Стрибека экспоненциального падения коэффициента, $\delta \in [0.5, 1]$ – эмпирический показатель степени, v – коэффициент вязкого трения.

Приведенная зависимость позволяет реализовать множество моделей, используемых на практике:

а) $\mu_\infty = \mu_0$, $\omega^* = 0$, $v = 0$ – классическая модель кулоновского трения с коэффициентом трения скольжения равным коэффициенту трения покоя;

- б) $\mu_\infty < \mu_0$, $\omega^* = 0$, $v = 0$ – классическая модель сухого трения с коэффициентом трения скольжения меньше коэффициента трения покоя;
- в) $\mu_\infty = \mu_0$, $\omega^* = 0$, $v > 0$ – дополнительно к случаю а) учитывается вязкое трение;
- г) $\mu_\infty < \mu_0$, $\omega^* = 0$, $v > 0$ – дополнительно к случаю б) учитывается вязкое трение;
- д) $\mu_\infty < \mu_0$, $\omega^* > 0$, $v = 0$ – модель Стрибека;
- е) $\mu_\infty < \mu_0$, $\omega^* > 0$, $v > 0$ – модель Стрибека с учетом вязкого трения.



Переход от режима скольжения к режиму сцепления осуществляется, когда угловая скорость меняет свое направление на противоположное. В этот момент запоминаются значения момента скольжения (обозначим его M_{fs}) и угла поворота породоразрушающего инструмента φ_{bs} .

В режиме сцепления используется следующая модель:

$$M_f = M_{fs} - c(\varphi_b - \varphi_{bs}) - d\omega_b,$$

где φ_b – текущее значение угла поворота долота. Таким образом, при переходе к сцеплению долото “привязывается” к породе линейным упруго-

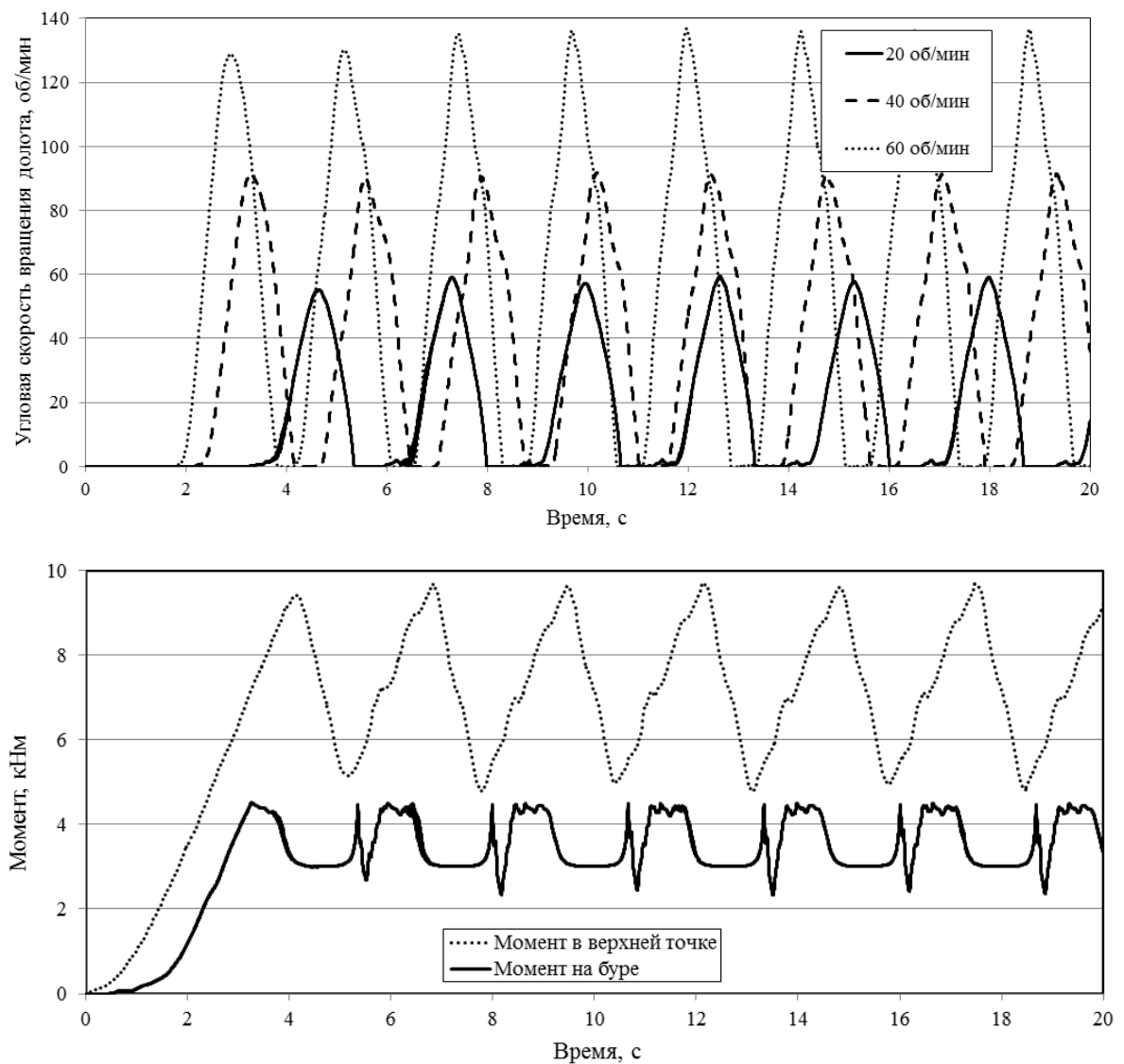
диссипативным элементом. Слагаемое M_{fs} в формуле обеспечивает непрерывность момента при переходе от скольжения к сцеплению.

Режим сцепления заканчивается при достижении момента сопротивления предельного значения, то есть при выполнении условия

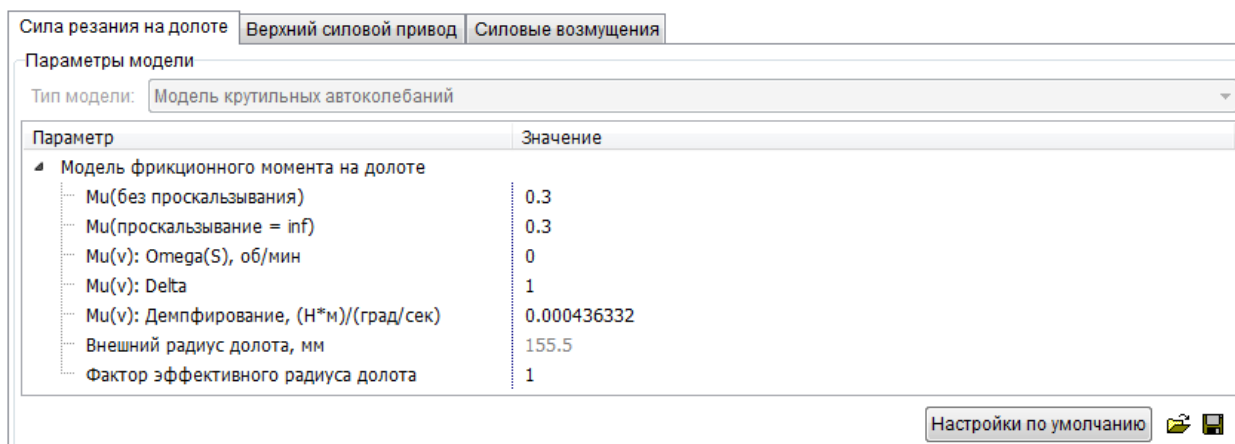
$$|M_f| > \mu_0 GR_b.$$

При потере контакта инструмента с породой, то есть при $G = 0$, момент трения также полагается равным нулю.

Пример использования данной модели момента для исследования крутильных автоколебаний бурильной колонны приведен на рисунке ниже. Расчеты выполнены при нагрузке на долото $G=100\text{кН}$. График момента соответствует угловой скорости $\Omega=20\text{об/мин}$.



Для использования модели необходимо выбрать соответствующий пункт в настройках сценария, параметр модели доступен на закладке **Расширенные настройки** | **Сила резания на долоте**.



Параметры **Mu(...)** соответствуют величинам, входящим в зависимости (1) и (2). Величина **Внешнего радиуса долота** автоматически определяется из описания первой детали компоновки колонны, **Фактор эффективного радиуса долота** [0..1] позволяет масштабировать величину момента сопротивления на долоте.

3.5.2. Модель PDC долота

Математическая модель PDC долота, реализованная в программе UM Drillstring Analysis, применяется для расчета сил и момента сопротивления по характеристикам движения долота, а также вычисления проходки – осевого смещения долота в процессе моделирования вдоль заданной оси скважины.

Описание математической модели

Модель RGD (Т. Richard, С. Germaу, Е. Detournay) долота режуще-скалывающего типа описана в работах [12, 13]. Особенностью этой модели является связь между осевым и угловым движениями долота.

Осевая сила и момент являются суммой режущей составляющей и трения

$$G = G_c + G_f, M = M_c + M_f.$$

Составляющие резания вычисляются по формулам [11]

$$G_c = R_b \zeta \varepsilon d(t), M_c = R_b^2 \varepsilon d(t) / 2,$$

где ε – характерная величина энергии, необходимая для резания, зависящая от породы; ζ – постоянная, определяемая наклоном силы резания к лезвию; $d = nd_n$ – суммарная глубина резания n лезвиями; R_b – радиус долота. В установившемся режиме величина d равна глубине резания за один полный оборот долота. В общем случае эта величина зависит от времени и определяется «историей» динамического процесса взаимодействия инструмента с породой.

Пусть z_b – осевая координата, определяющая положение долота в скважине, например, расстояние от поверхности до долота вдоль оси скважины. Предполагается, что форма поверхности скважины в осевом направлении полностью определяется поворотом долота, таким образом, что текущая глубина резания отдельным лезвием вычисляется по формуле

$$d_n = d(t) / n = z_b(\varphi_b(t)) - z_b(\varphi_b(t) - 2\pi/n),$$

т.е. равна разнице между осевой координатой инструмента в данный момент времени и запомненным значением координаты в предыдущем положении, когда лезвия занимали такое же угловое положение (поворот против враще-

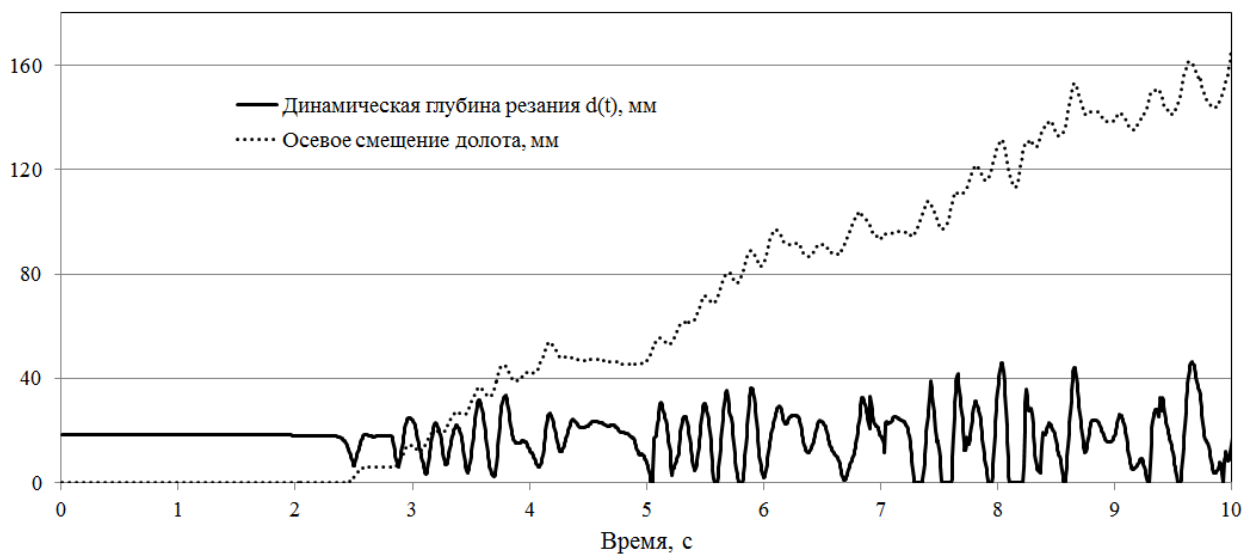
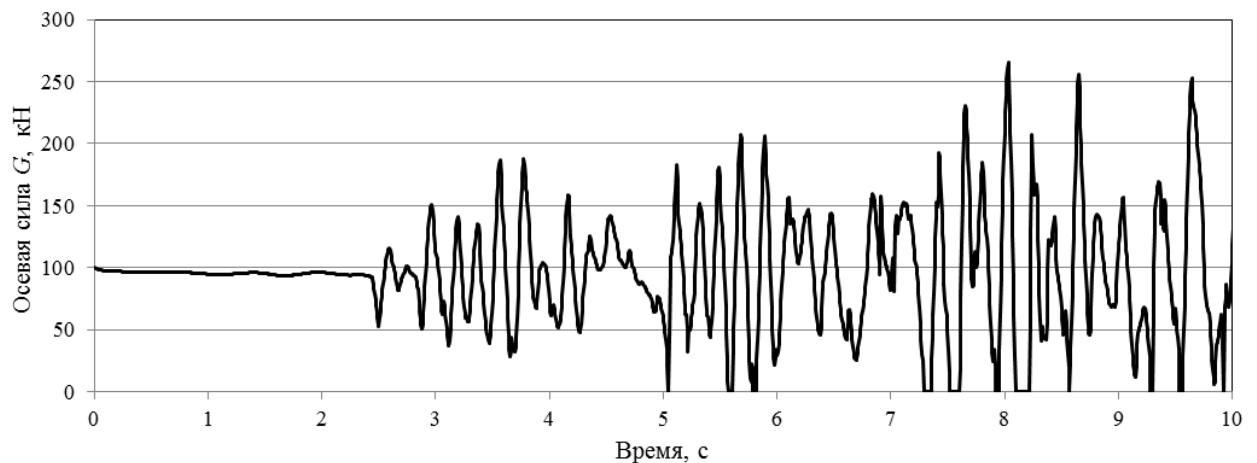
ния на угол $2\pi/n$). Предполагается, что глубина резания для всех лезвий одинаковая.

Для расчета силы и момента трения в режиме проскальзывания используются зависимости [11]

$$G_f = R_b l \sigma, \quad 2M_f = R_b \gamma \mu G_f.$$

Здесь $l = n l_n$ – суммарная толщина лезвий, $\gamma \in [1, 4/3]$ – параметр, характеризующий геометрию лезвия, σ – контактное давление, примерно равное ε [12].

Данная модель силы и момента позволяет исследовать не только процесс крутильных автоколебаний БК, но и осевых колебаний, в том числе динамический отрыв бурильного инструмента от породы. Пример моделирования процесса развития осевых колебаний представлен на рисунке ниже. Средняя нагрузка на долоте $G = 100$ кН, угловая скорость $\Omega = 80$ об/мин.



Параметры модели

Сила резания на долоте | Верхний силовой привод | Силовые возмущения

Параметры модели

Тип модели: Модель PDC бура (Richard-Germy-Detourney)

Расчет характеристик резания по описанию скважины Оценка SE

Параметр	Значение
Модель фрикционного момента на долоте	
Mu(без проскальзывания)	0.3
Mu(проскальзывание = inf)	0.3
Mu(v): Omega(S), об/мин	0
Mu(v): Delta	1
Mu(v): Демпфирование, (Н*м)/(град/сек)	0.000436332
Внешний радиус долота, мм	155.5
Фактор эффективного радиуса долота	1
RGD модель PDC долота	
Параметр геометрии долота (gamma)	1
Общая длина плоскостей износа (l), мм	1.8
RGD: энергия разруш. породы, МПа	60
RGD: давление в контакте, МПа	60
Показатель наклона контактной силы (zeta)	0.6
Число лезвий	3
Линейное демпфирование породы, Н/(м/сек)	500000
Стохастические компоненты	
СКО случайных неровностей, мм	0.5
Масштаб частоты случайного процесса	1
СКО случайной поперечной силы, Н	0
СКО случайного крутящего момента, Н*м	0

Параметры модели Стрибека для расчета фрикционной составляющей момента сопротивления на долоте W_f .

Параметры модели RGD (T. Richard, C. Germy, E. Detournay) для учета фрикционно-скалывающего характера разрушения породы долотом, а так же линейное демпфирование внедрения долота в поверхность забоя.

Параметры стохастических параметров модели – случайных неровностей забоя, случайных величин дополнительных сил и моментов на долоте.

Настройки по умолчанию

При необходимости значения **Энергии разрушения породы** и **Давления в контакте** могут быть оценены по текущим характеристикам проходки.

Сила резания на долоте | Верхний силовой привод | Силовые возмущения

Параметры модели

Тип модели: Модель PDC бура (Richard-Germy-Detourney)

Расчет характеристик резания по описанию скважины Оценка SE

Параметр	Значение
Модель фрикционного момента на долоте	
Mu(без проскальзывания)	0.3
Mu(проскальзывание = inf)	0.3
Mu(v): Omega(S), об/мин	0
Mu(v): Delta	1
Mu(v): Демпфирование, (Н*м)/(град/сек)	0.000436332
Внешний радиус долота, мм	155.5
Фактор эффективного радиуса долота	1
RGD модель PDC долота	
Параметр геометрии долота (gamma)	1
Общая длина плоскостей износа (l), мм	1.8
RGD: энергия разруш. породы, МПа	76.1973
RGD: давление в контакте, МПа	76.1973
Показатель наклона контактной силы (zeta)	0.6
Число лезвий	3
Линейное демпфирование породы, Н/(м/сек)	500000
Стохастические компоненты	
СКО случайных неровностей, мм	0.5
Масштаб частоты случайного процесса	1
СКО случайной поперечной силы, Н	0
СКО случайного крутящего момента, Н*м	0

Оценка величины MSE по характеристикам проходки скважины

Параметр	Значение
Исходные данные	
WOB, кН	60.051
Скорость вращения долота, ...	152
Внешний диаметр долота, мм	311
Скорость проходки, м/час	30.48
Крут. момент в верхней точ...	3.38954
Козф. приведения площади ...	1.1
Козф. приведения момента ...	0.9
Промежуточные данные	
Приведенная площадь забоя...	83560.9
Целевой момент на долоте,...	3.06059
Прив. трение на долоте	0.490032
Оценка Specific Energy	
Оценка Specific Energy, МПа	76.1973

Принять Закреть

Настройки по умолчанию

3.5.3. Модель шарошечного долота

Математическая модель шарошечного долота, реализованная в программе UM Drillstring Analysis, применяется для расчета момента сопротивления на долоте на основании стационарной модели момента Уоррена с возможностью внесения стохастических воздействий (для воспроизведения характера реального процесса).

Модель включает эмпирические нелинейные зависимости для стационарных значений момента сопротивления на долоте и глубины резания d за оборот, предложенные в работах Уоррена [22, 23]

$$d^{-1} = \left(\frac{aS^2D_b^3}{G^2} + \frac{c}{D_b} \right),$$

$$m_\infty = (C_1 + C_2\sqrt{d/D_b})D_b.$$

В этих формулах $D_b = 2R_b$ - диаметр долота, a, b, C_1, C_2 - эмпирические постоянные, S – твердость породы.

Случайный характер момента и силы на долоте опционально учитывается добавлением стохастических величин поперечной и осевой силы, крутящего момента, а также неровностей под долотом (учитываются при расчете подпирющей осевой силы).

Сила резания на долоте | Верхний силовой привод | Силовые возмущения

Параметры модели

Тип модели: Модель шарошечного бура

Параметр	Значение
Параметры модели Уоррена	
Диаметр долота, мм	311
Относительная прочность породы	1
Параметр ROP A	0.3
Параметр ROP C	2.8
Параметр TOB C3	2.37
Параметр TOB C4	14.2
Амплитуда профиля, мм	1
Стохастические компоненты	
СКО случайной поперечной силы, Н	0
СКО случайного крутящего момента, Н*м	0
СКО случайных неровностей, мм	0.5
Масштаб частоты случайного процесса	5
Масштаб случайной осевой силы, %	0.1

Параметры модели Уоррена для расчета установившегося момента сопротивления на долоте.

Параметры стохастических параметров модели – случайных неровностей забоя (определяющих осевую силу), случайных величин дополнительных сил и момента на долоте.

3.5.4. Модель Tucker-Wang

Математическая модель момента сопротивления на долоте на основании стационарной модели момента сопротивления на долоте Такера и Ванга.

Описание математической модели

В работе [3] Такер и Ванг предложили вариант модели зависимости установившихся значений момента на долоте M_{f0} и скорости бурения v_0 от угловой скорости инструмента и осевой нагрузки

$$v_0 = -a_1 + a_2 G + a_3 \Omega,$$

$$M_{f0} = a_4 v_0 / \Omega + a_5.$$

Здесь a_1, \dots, a_5 – эмпирические постоянные, Ω – угловая скорость инструмента в оборотах в минуту. Для численного моделирования динамических процессов авторы выполнили регуляризацию выражений для скорости бурения и момента трения

$$v = F^2(-a_1 + a_2 G) + a_3 \Omega F,$$

$$M_f = a_4 F^2 v / \Omega + a_5 F,$$

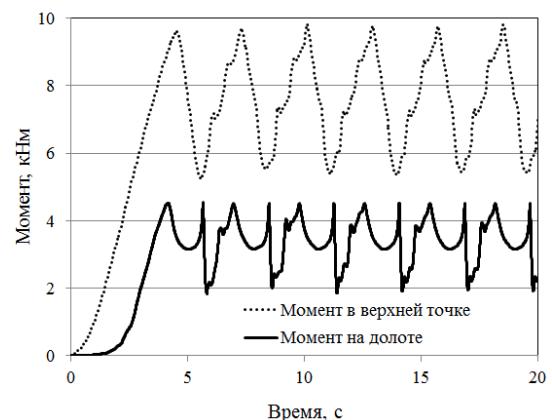
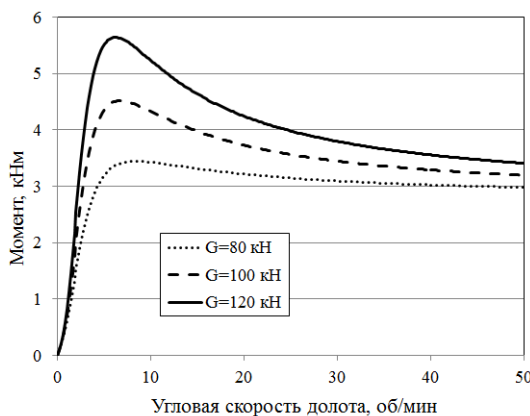
где введена регуляризирующая функция скорости вращения

$$F(\Omega) = \frac{\Omega}{\sqrt{\Omega^2 + \varepsilon^2}}.$$

На рисунке 6 приведены графики момента для различных осевых нагрузок при значениях параметров, указанных в статье [3]

$$a_1 = 3.429 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}, \quad a_2 = 5.672 \cdot 10^{-8} \text{ м/Н/с}, \quad a_3 = 1.374 \cdot 10^{-4} \text{ м}, \quad a_4 = 9.537 \cdot 10^6 \text{ Н},$$

$$a_5 = 1.475 \cdot 10^3 \text{ Нм}, \quad \varepsilon = 3.$$





Сила резания на долоте Верхний силовой привод Силовые возмущения

Параметры модели

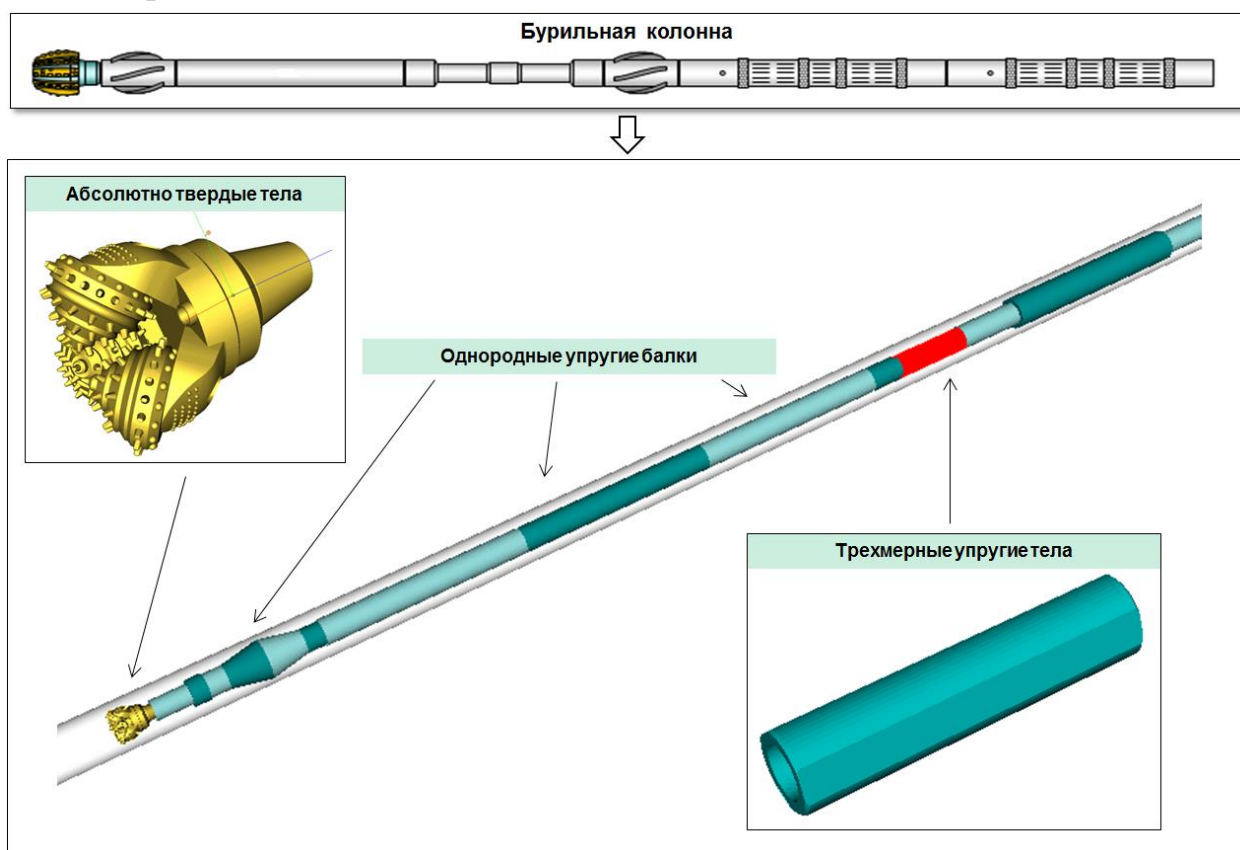
Тип модели:

Параметр	Значение
▾ Параметры модели Таккер-Ванга	
┆ A1, м/сек	0.003429
┆ A2, м/Н/сек	5.627E-008
┆ A3, м/рад	0.0001374
┆ A4, Н*рад	9.537E006
┆ A5, Н*м	1475
┆ Epsilon, рад/сек	2

3.6. Модель бурильной колонны

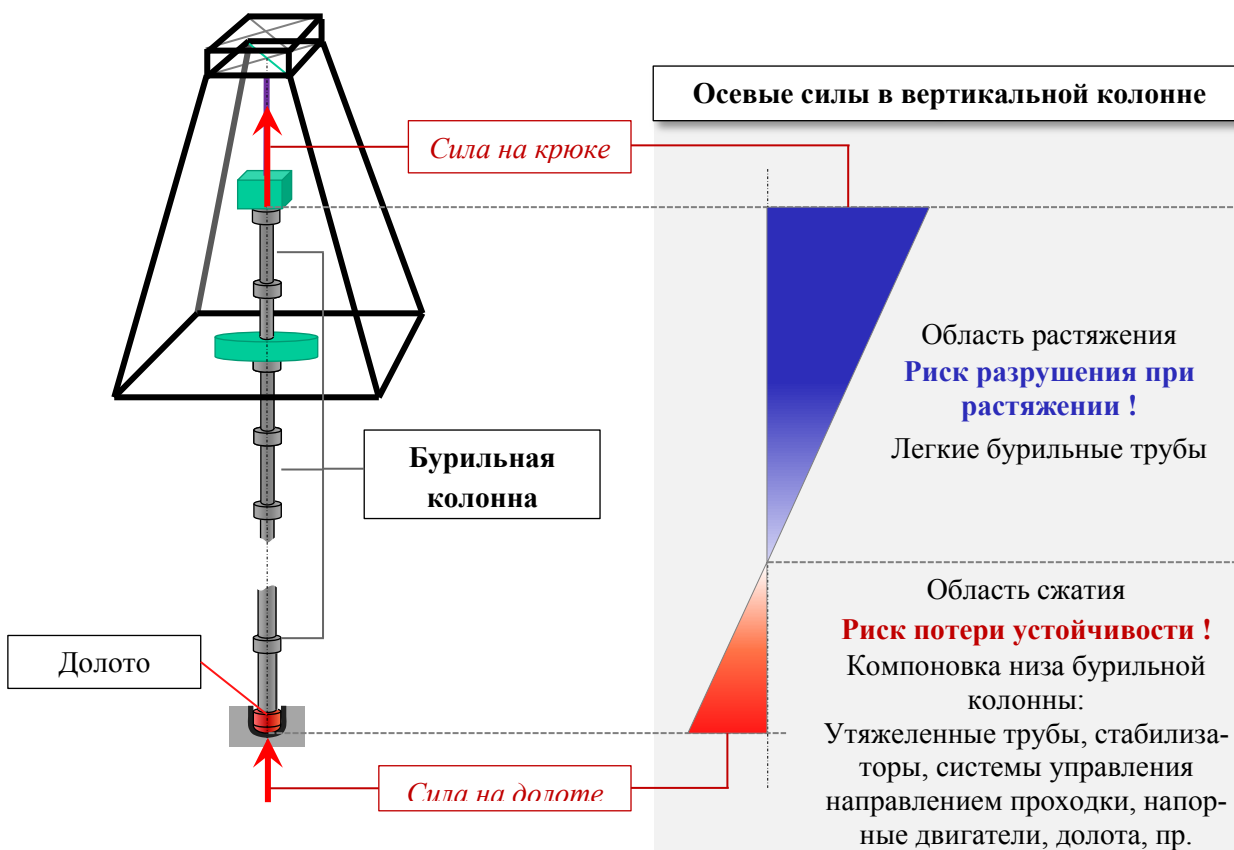
Построение математической модели БК основывается на представлении элементов компоновки набором упругих балочных и пространственных КЭ конечно-элементных моделей и абсолютно твердых тел.

Вал колонны, как правило, моделируется упругими балочными конечными элементами, уравнения движения которых записываются в абсолютных узловых координатах. Для описания *внешних элементов* могут также применяться абсолютно твердые тела. При необходимости в состав модели может быть добавлена произвольная конечно-элементная модель элементов оборудования, движение которой представляется набором модальных координат (метод Крейга-Бэмптона).



3.6.1. Компоновки нижней и верхней частей колонны

При проходке для обеспечения необходимого усилия долоте нижняя часть колонны работает в условиях сжатия; для компенсации веса колонны в негоризонтальных скважинах к верхней точке прикладывается растягивающее усилие (нагрузка на крюке).



Таким образом, всю компоновку можно разделить на нижнюю часть, подвергающуюся сжимающим осевым нагрузкам, и верхнюю часть, работающую в условиях растягивающих осевых сил.

Одной из опасностей, возникающих в сжатых элементах колонны, является потеря устойчивости по синусоидальной или спиральной форме. При потере устойчивости резко возрастают контактные силы, что приводит к увеличению сопротивления движению компоновки в скважине, прихватам или обрыву колонны.

Верхняя часть бурильной колонны набирается из обычных бурильных труб; нижняя комплектуется утяжеленными трубами (наряду с долотом, стабилизаторами, измерительными системами и системами передачи данных, устройствами управления направлением проходки, гасителями вибраций и пр.), способными противостоять потере устойчивости при сжатии.



Анализ КНБК – наиболее нагруженной части колонны, включающей специализированное дорогостоящее оборудование, – в настоящее время является неотъемлемой частью процесса строительства скважин. Компьютерное моделирование может использоваться для выявления опасных режимов работы оборудования, определения оптимального расположения стабилизаторов, оценки функционирования систем управления направлением проходки, анализа причин отказов оборудования или отклонения от запланированной траектории скважины. Во всех перечисленных случаях компьютерное моделирование является дешевой альтернативой выполнению экспериментальных исследований.

3.6.2. Настройки динамической модели колонны

При использовании программы UM Drillstring Analysis в режимах **Продвинутый пользователь** и **Разработчик** доступны расширенные настройки динамической модели бурильной колонны.

Внимание. При решении стандартных задач, рассматриваемых в данном руководстве, разработчики рекомендуют использовать параметры по умолчанию. При необходимости изменения параметров следует оценивать их влияние на результат расчета с учетом особенностей применяемых математических моделей.

3.6.2.1. Настройки дискретизации модели

При описании модели бурильной колонны с использованием упругих балочных элементов, точность решения существенно зависит от дискретизации модели. Однородные секции элементов детали представляются последовательностями балочных элементов, размер которых выбирается исходя из настроек дискретизации – максимально допустимого соотношения длины балочного КЭ к внешнему диаметру секции.

Пользователь может использовать настройки по умолчанию, либо задать максимально допустимые значения соотношения для произвольного количества интервалов компоновки (задаются от долота).

	Расстояние от долота, м	Соотношение
1	152.4	10
2	457.2	100
3	1524.0	500

Уменьшение значений повышает точность моделирования, но приводит к увеличению вычислительных затрат.

Дискретизация модели БК определяется отношением максимальной длины конечного элемента к внешнему диаметру трубы (Aspect Ratio):

- Однородная секция БК моделируется одним или несколькими конечными элементами
- Длина конечного элемента не превышает значения внешнего диаметра секции помноженного на значение Aspect Ratio
- Значения Aspect Ratio задаются набором интервалом от бура

Дискретизация стандартных элементов буровой колонны (буровых труб)

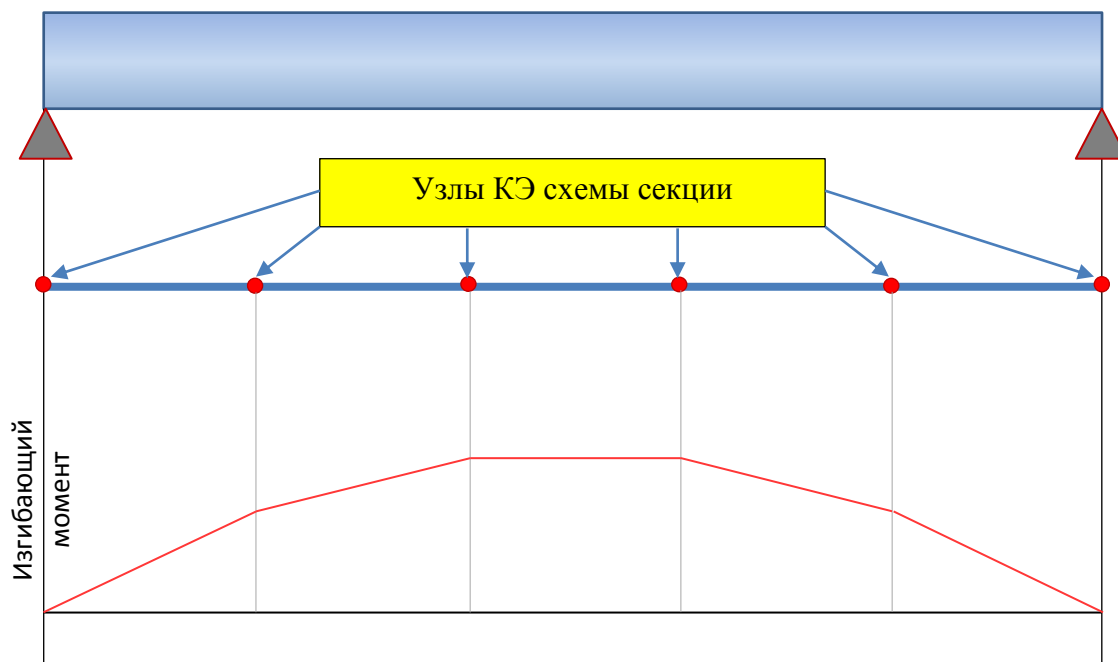
Подробная С объедин. замками Упрощенная

Настройки по умолчанию

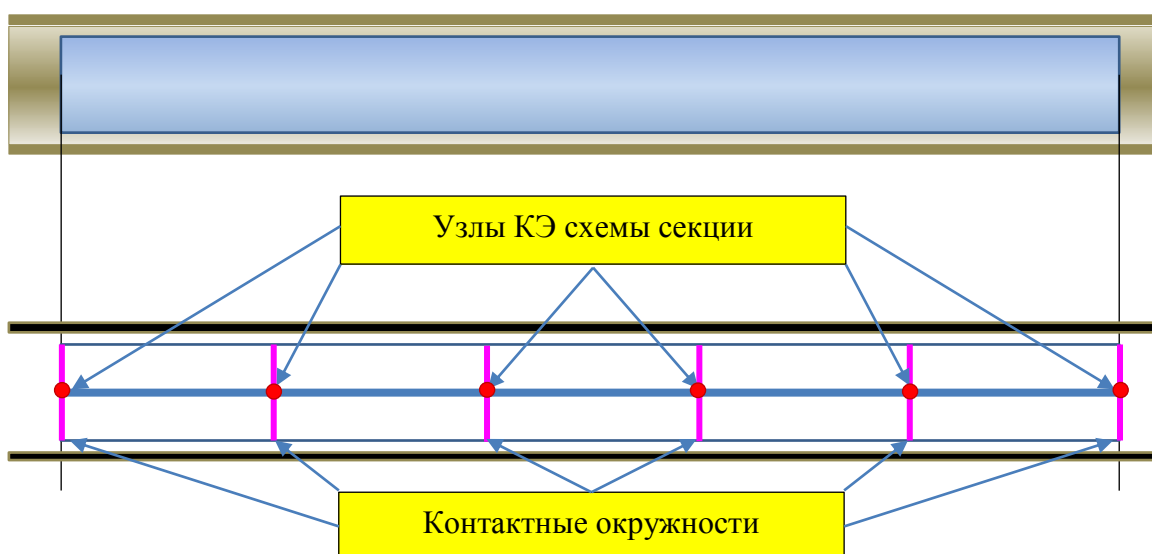
Использование подробной дискретизации – малых значений *Соотношения* – приводит к возрастанию числа степеней свободы модели и снижению скорости вычислений; использование грубой дискретизации – большие значения *Соотношения* – снижает точность решения по следующим причинам.

Число конечных элементов, описывающих однородную секцию балки, определяет следующие характеристики модели:

- Точность описания полей деформаций, напряжения и внутренних силовых факторов по длине однородной секции, с учетом применяемых функций формы конечного элемента.



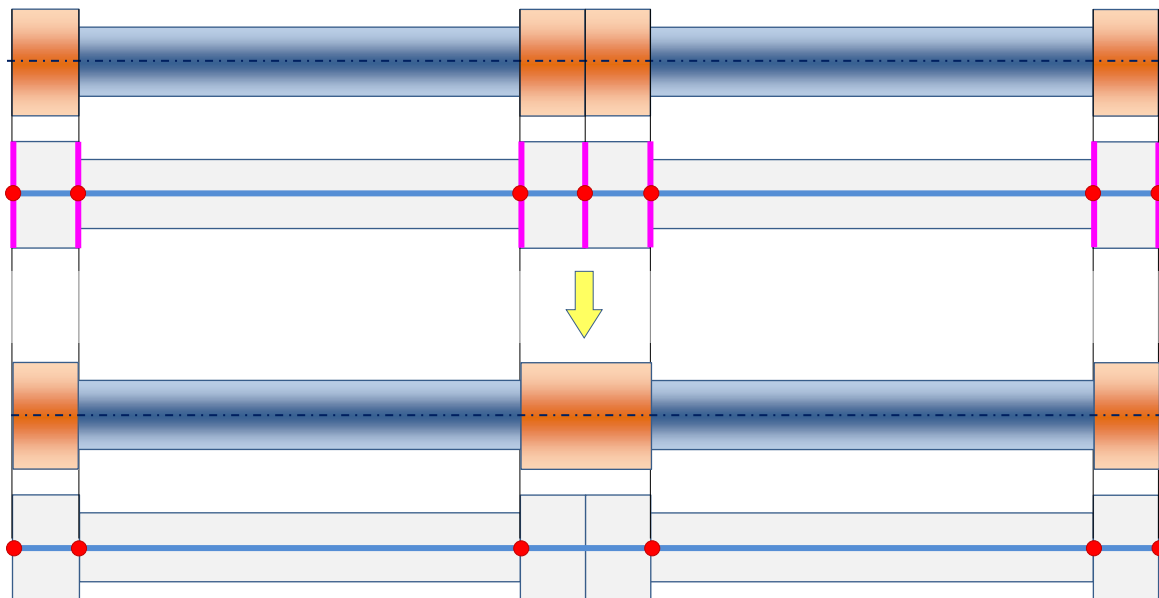
- Точность описания контактного взаимодействия секции со стенками скважины; дискретные контактные силовые элементы добавляются в узлах элементов.



Для описания бурильных труб, применяющихся в верхней части компоновки, возможно применение упрощенных моделей:

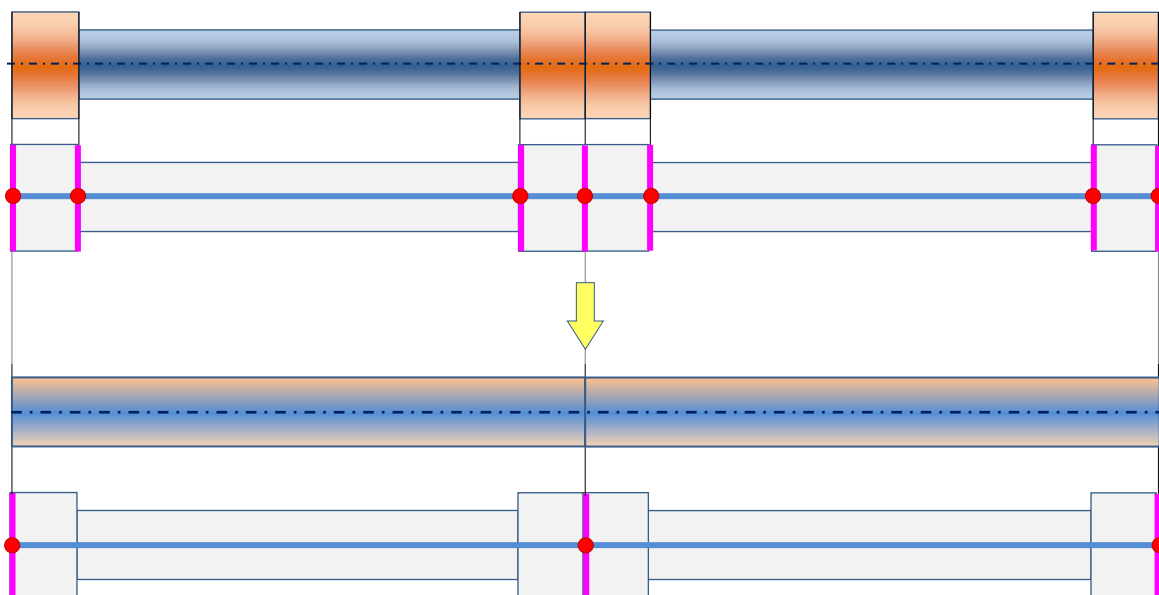
- **С объединенным замком**

Для снижения числа степеней свободы модели и количества контактных силовых элементов возможно объединение смежных секций замков одинаковых бурильных труб в одну секцию.



- **Упрощенная модель**

В ряде случаев для описания бурильной трубы возможно использование одного балочного КЭ (однородного, без замков) с приведенной массой; внешний диаметр замка в этом случае учитывается при выборе диаметра контактной окружности по концам КЭ.

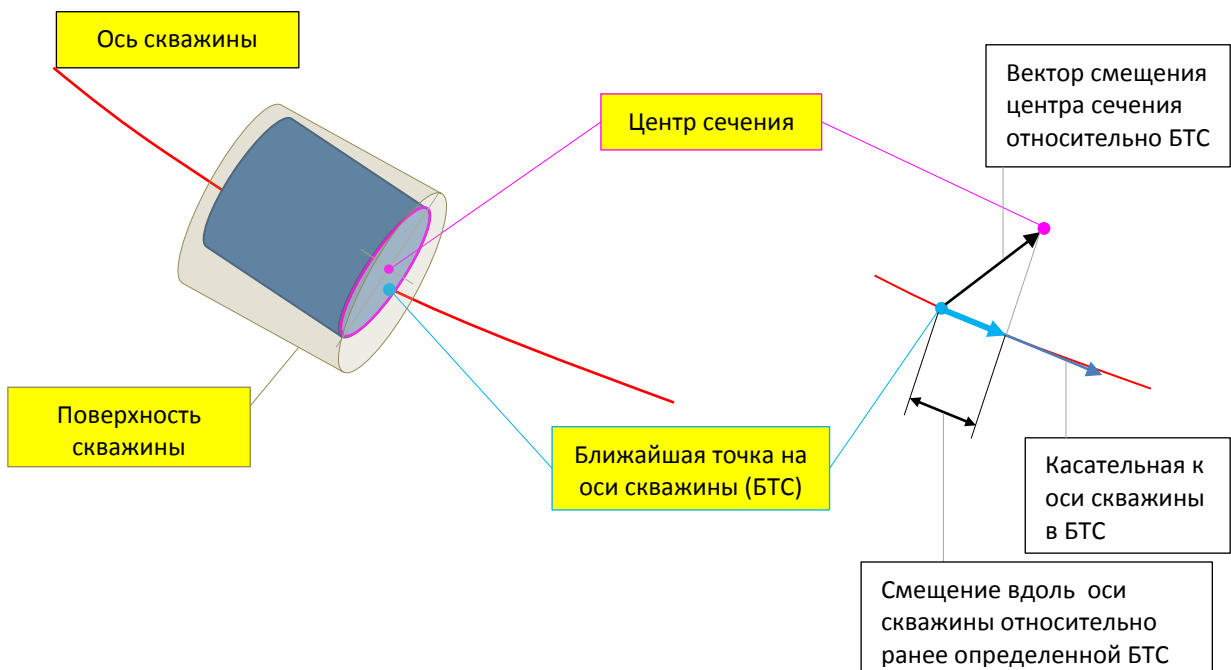


3.6.2.2. Настройки контактного взаимодействия колонны со скважиной

Закладка *Контактное взаимодействие БК со скважиной* позволяет настроить следующие параметры взаимодействия:

- **Интервал удержания параметров контакта при смещении вдоль оси скважины**

Для расчета параметров контактного взаимодействия типа *Окружность-Цилиндр* или *Точки-Цилиндр* необходимо определить параметры цилиндра (скважины) в точке потенциального взаимодействия (точки на оси скважины, ближайшей к рассматриваемому сечению компоновки).



Для сокращения временных затрат на данную процедуру, параметры цилиндра остаются неизменными при смещении центра сечения вдоль оси скважины на заданную величину.

Коэффициент трения

Коэффициент трения в контакте бурильной колонны с обсадными колоннами и открытым стволом может быть задан на форме, либо взят из описания конструкции скважины (см. Раздел 3.1.2).

Для секций с лезвиями задаются дополнительные множители, позволяющие учесть специфику взаимодействия с обсадной колонной и породой.

Коэффициент трения в контакте двух тел в общем случае зависит от скорости проскальзывания в точке контакта. Для описания зависимости в моделях контактных сил реализована комбинация экспоненциальной модели, учитывающей эффект Штрибека для поверхностей с лубрикацией, и вязкого трения [2] [3] [4]

$$f(v_s) = f_\infty + (f_0 - f_\infty) \cdot e^{-(v_s/v_{str})^\delta} + \mu \cdot v_s,$$

где

f_0, f_∞ – коэффициенты трения при нулевой скорости (покоя) и при бесконечной скорости проскальзывания;

v_{str} – скорость Штрибека, определяющая величину интервала скорости проскальзывания, на которой имеет место эффект Штрибека экспоненциального падения коэффициента трения;

δ – эмпирический показатель степени, зависящий от материала;

μ – коэффициент вязкого трения.

Контактная жесткость

Величина контактной жесткости при взаимодействии однородных секций колонны со стенками обсаженного и открытого ствола может быть задана напрямую, либо вычислена по формулам Герца (приближение на основании расчета для контактирующих цилиндров с параллельными осями).

Для секций с лезвиями задаются дополнительные множители, позволяющие учесть специфику взаимодействия с обсадной колонной и породой.

Контактная жесткость	Демпфирование
Описание <input checked="" type="radio"/> Задать вручную <input type="radio"/> Расчет по Герцу	Описание <input checked="" type="radio"/> Значение <input type="radio"/> Доля от критического
Значения для однородной трубы Обсадная колонна, кН/м: 200 000	Значения для однородной трубы Обсадная колонна, Н/(м/сек): 1 000
Порода, кН/м: 100 000	Порода, Н/(м/сек): 1 000
Множитель для лезвия Обсадная колонна: 0.5	Множитель для лезвия Обсадная колонна: 1
Порода: 0.5	Порода: 1

Демпфирование

Величина демпфирования в контакте однородных секций колонны со стенками обсаженного и открытого ствола может быть задана напрямую, либо оценена по доле от критического значения (оценивается из уравнений для упруго-диссипативного движения массы на пружине):

$$\mu = 2\beta\sqrt{m \cdot c},$$

где

β – доля демпфирования от критического; 0 соответствует отсутствию рассеяния энергии, 1 – переходу колебательного движения в апериодическое;

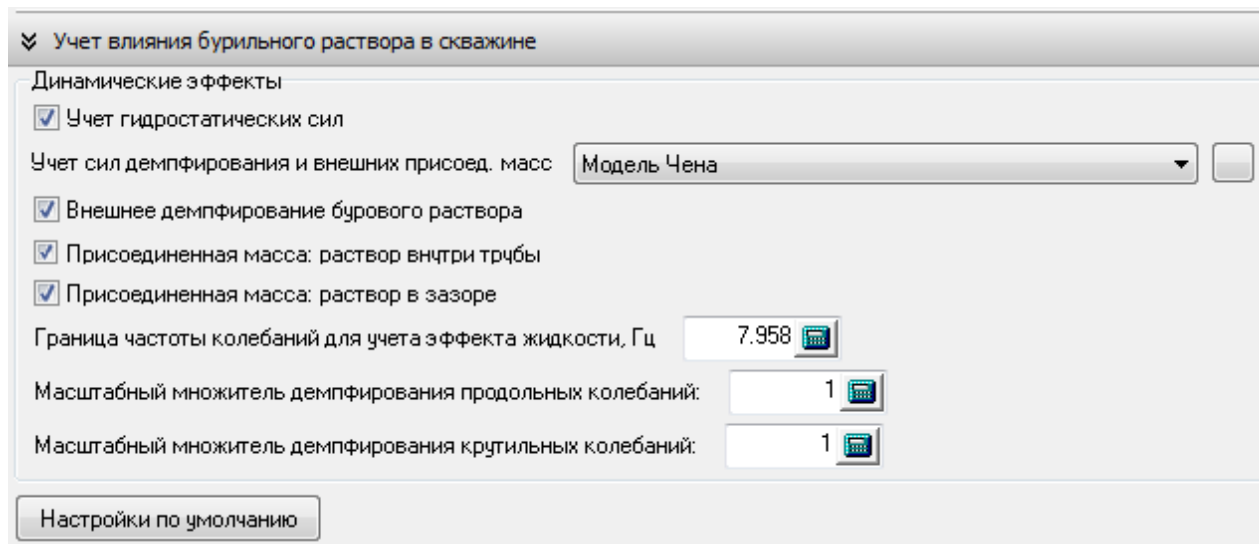
c – контактная жесткость;

m – масса тела, совершающего колебания.

При взаимодействии двух рекомендуется использовать величину меньшей массы – в нашем случае, массу элемента колонны. По умолчанию, для расчета используется масса смежных балочных элементов. В то же время существует неопределенность в том, какая часть колонны «удерживается» данным контактом. Именно поэтому, значения доли демпфирования могут принимать значения существенно больше 1.0.

3.6.2.3. Учет влияния бурового раствора в скважине

Буровой раствор, находящийся внутри бурильной колонны и в зазоре между стенками колонны и скважины оказывает заметное влияние на поведение компоновки:



- **Учет гидростатических сил**, определяемых высотой столба бурового раствора над рассматриваемым сечением колонны в скважине
- **Модель учета сил демпфирования и внешних присоединенных масс**
По умолчанию, для учета влияния бурового раствора на динамику компоновки используется модель Чена [], изначально разработанная для описания поперечных колебаний трубы в цилиндрическом канале.
- **Внешнее демпфирование бурового раствора**
Перечные колебания трубы в скважине приводят к движению бурового раствора в кольцевом зазоре и, как следствие, рассеянию энергии – внешнему демпфированию, входящему в уравнения движения колонны. Для оценки используются зависимости Чена.
- **Присоединенная масса: раствор внутри трубы**
Инерционные характеристики секции колонны при описании ее поперечного движения, по умолчанию, учитывают массу бурового раствора внутри движущейся трубы.
- **Присоединенная масса: раствор в зазоре**
Учет массы бурового раствора, приводящегося в движение при поперечных колебаниях секций колонны, оцениваемые по зависимостям Чена.

- **Граница частоты колебаний для учета влияния раствора**

Параметр, входящий в выражения Чена для расчета внешнего демпфирования и присоединенной массы бурового раствора в зазоре, соответствующий верхней границе частот динамических процессов, рассматриваемых в ходе моделирования.

- **Масштабные множители демпфирования продольных и крутильных колебаний**

Для учета рассеяния энергии, связанного с продольным и крутильным движением секции колонны, применяется модель вязкой жидкости, с парой масштабных коэффициентов.

3.6.2.4. Граничные условия

Граничные условиями, накладываемые на модель компоновки в скважине, определяются типом анализа и постановкой задачи.

Закрепления модели реализованы в виде упруго-диссипативных связей, для описания которых применяются коэффициенты **Линейной/угловой жесткости** и **Линейного/углового демпфирования**.

Граничные условия

Жесткость связей

Линейная жесткость, кН/м: 100 000

Угловая жесткость, кН*м/град: 100 000

Демпфирование в связях

Линейное демпфирование, Н/(м/сек): 10 000

Угловое демпфирование, (кН*м)/(град/сек): 3 333.33

Осевая нагрузка

Сила на долоте Сила в верхн. точке Целевая сила на долоте Пользовательская

Крутящий момент

Момент на долоте Момент сверху Целевой момент на долоте Пользовательский

Связи верха БК

X aX

Y aY

Z aZ

Связи низа БК

X aX

Y aY

Z aZ

Настройки по умолчанию

В общем случае математическое ядро Drillstring Analysis поддерживает задание произвольного набора закреплений на линейные и угловые смещения верхней точки компоновки и долота (см. **Связи верха БК** и **Связи низа БК**).

Для упрощения описания стандартных расчетных ситуаций, применяющихся для различных типов анализа, в программе реализованы следующие расчетные схемы по продольным (**Осевая нагрузка**) и крутильным (**Крутящий момент**) степеням свободы модели:

Осевая нагрузка

- **Сила на долоте**

Заданная *Сила на долоте*, прикладывается к нижней точке модели; ограничение накладываем на продольное движение верхней точки. Положительное значение силы соответствует ее направлению от долота к верхней части компоновки.

- **Сила в верхней точке**

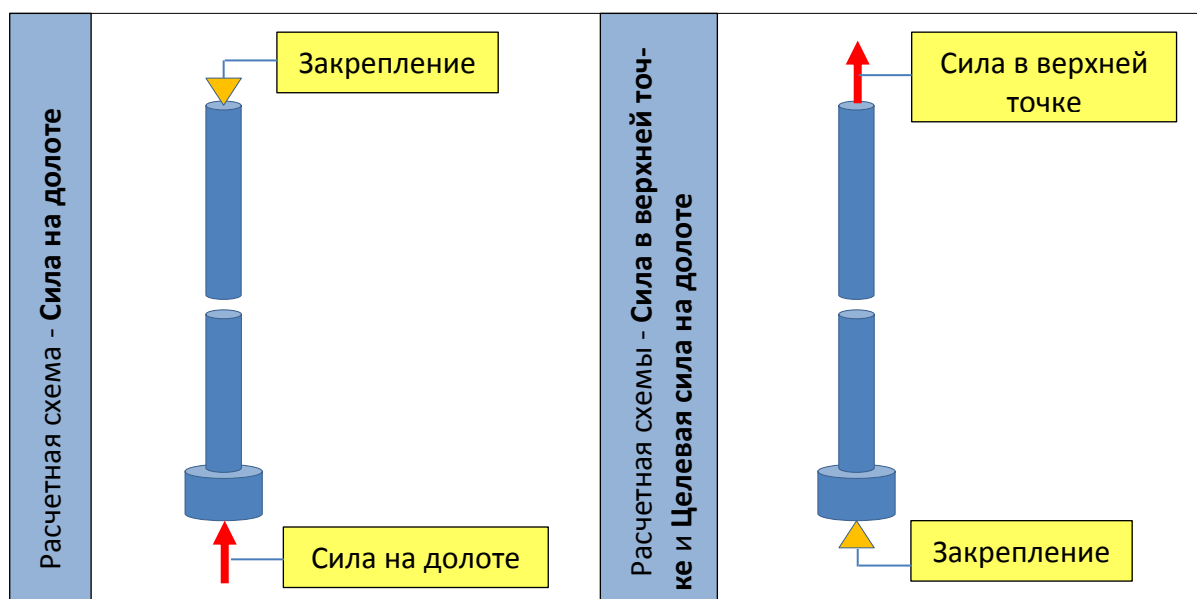
Сила, прикладывается к верхней точке модели БК; ограничение накладываем на продольное движение нижней точки долота. Сила на долоте рассчитывается в ходе решения. При данном типе закрепления, сила в верхней точке описывается как *Нагрузка на крюке* за вычетом *Веса СВП и ротора*.

- **Целевая сила на долоте**

Продольная сила, прикладывается к верхней точке модели; ограничение накладываем на продольное движение нижней точки долота. Сила на долоте рассчитывается в ходе решения и итерационно изменяется до достижения силы реакции в закреплении равной заданной *Целевой нагрузке на долоте*.

- **Пользовательская**

Произвольный набор закреплений, накладываемых на продольное смещение верхней и нижней точек модели; продольная сила, прикладывается в точках без закрепления.



Крутящий момент

- **Момент на долоте**

Заданный крутящий *Момент на долоте*, прикладывается к нижней точке модели; ограничение накладывается на вращение верхней точки вокруг оси колонны. Положительное значение момента соответствует направлению по часовой стрелке при наблюдении от долота к верху компоновки.

- **Момент в верхней точке**

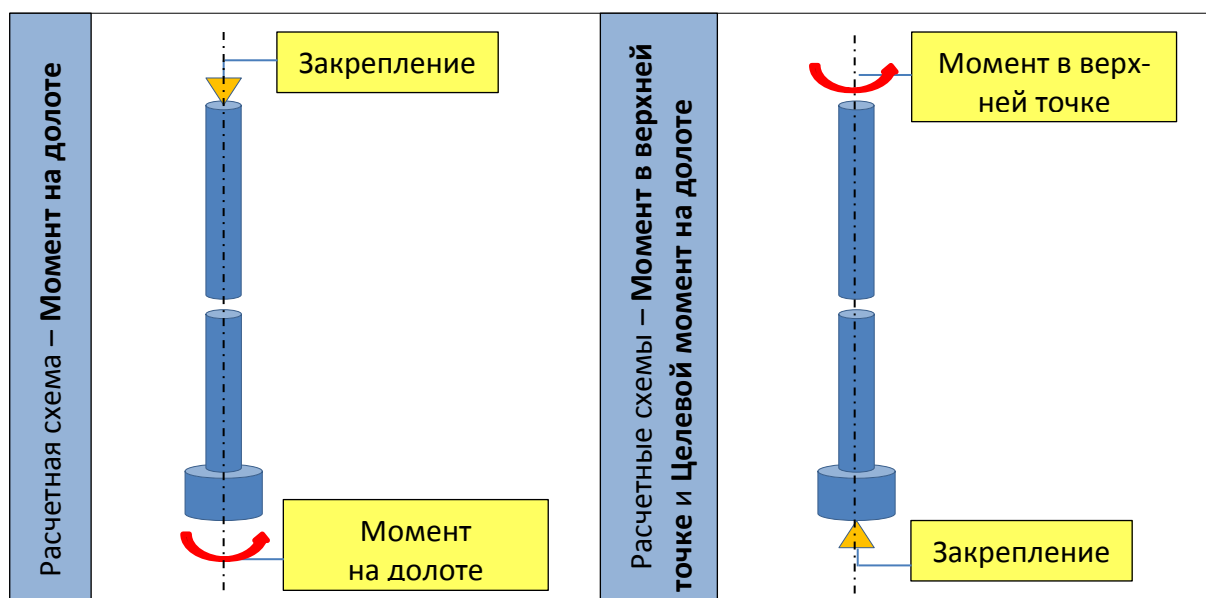
Заданный крутящий момент, прикладывается к верхней точке модели БК; ограничение накладывается на поворот нижнего сечения долота вокруг продольной оси. Момент на долоте рассчитывается в ходе решения.

- **Целевой момент на долоте**

Заданный крутящий момент, прикладывается к верхней точке модели БК; ограничение накладывается на поворот нижнего сечения долота вокруг продольной оси. Момент на долоте рассчитывается в ходе решения и итерационно изменяется до достижения значения момента в закреплении равного заданному *Целевому моменту на долоте*.

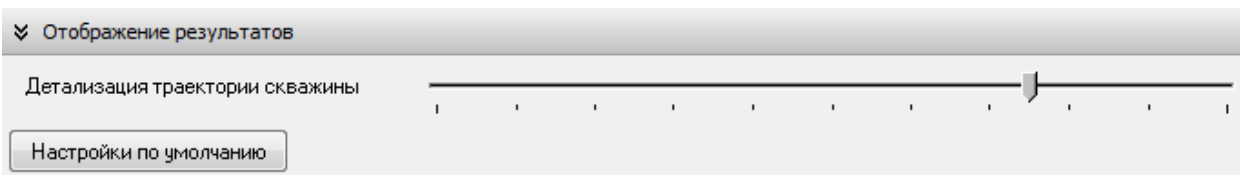
- **Пользовательский**

Произвольный набор закреплений, накладываемых на вращение верхнего и нижнего сечения модели компоновки вокруг продольной оси; крутящий момент, прикладывается в точках без закрепления.

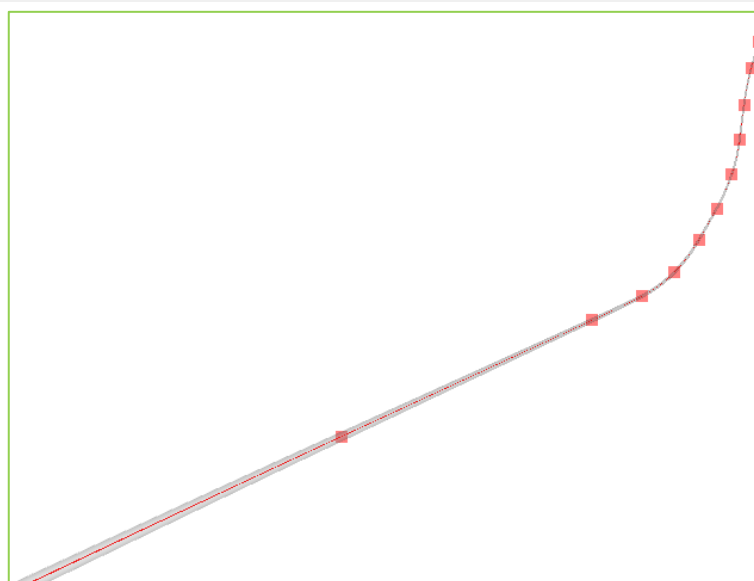
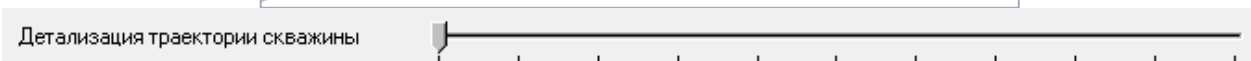
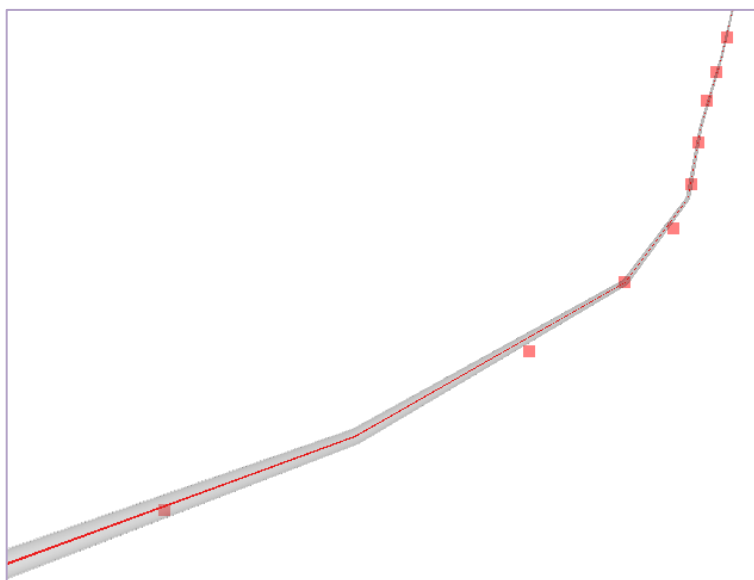


3.6.2.5. Отображение результатов

Закладка *Отображение результатов* содержит настройки, общие для представления результатов всех типов анализа.



Настройка **Детализация траектории скважины** позволяет менять количество точек применяющихся для визуализации ствола скважины. Настройки по умолчанию подходят для стандартных скважин, но в ряде случаев – для корректного отображения участков большой кривизны протяженных скважин – может потребоваться повышение дискретизации.



3.6.2.6. Расчет положения равновесия

На панели **Расчет положения равновесия** расположены настройки, отвечающие за точность и сходимость процедуры расчета положения равновесия модели колонны в скважине.

Расчет положения равновесия

Точность расчета

Низкая Средняя Выс

Задать параметры вручную

Кинетическая энергия на интервале 0.003347

Ширина интервала 2

Минимальное время интегрирования 2.2

Внутреннее демпфирование при расчете равновесия

Коэффициент модального демпфирования: 10

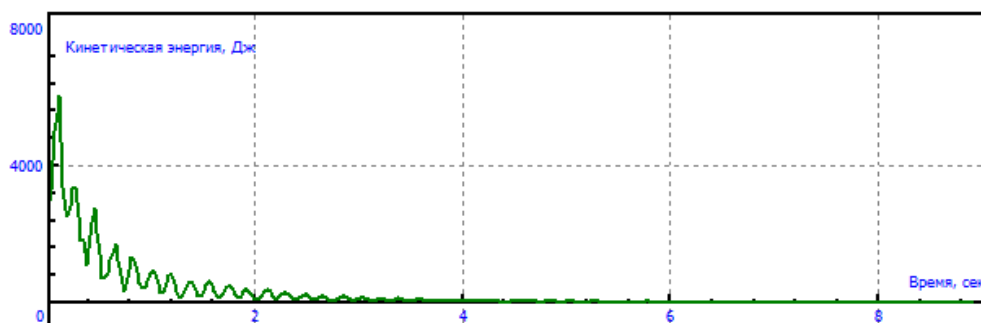
Коэффициент пропорционального демпфирования: 5

Учитывать силы трения в контакте БК-скважина

Использовать аналитическое 'soft-string' решение

Настройки по умолчанию

Критерием достижения моделью положения равновесия является затухание кинетической энергии; положение равновесия фиксируется, если уровень энергии не превышает заданного значения (**Кинетическая энергия на интервале**) в течение заданного временного интервала (параметр **Ширина интервала**). Для исключения ложных срабатываний критерия в начале интегрирования задается параметр **Минимальное время интегрирования**.



Для упрощения перечисленные параметры могут быть рассчитаны по умолчанию для заданного положения на шкале **Точность расчета**.

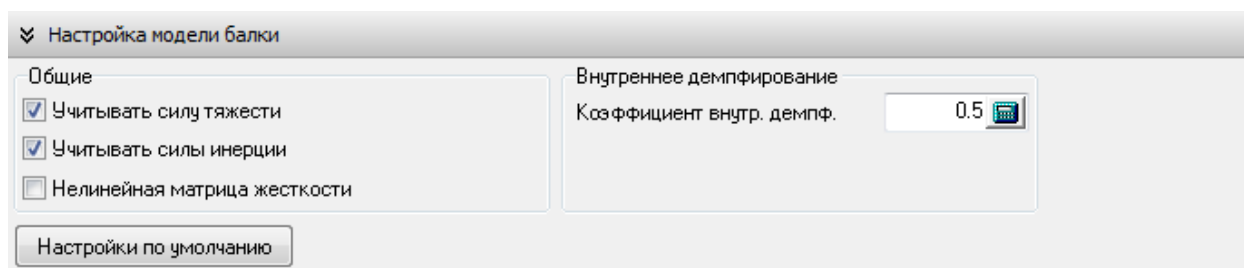
Для ускорения сходимости решения применяются завышенные коэффициенты внутренней диссипации модели колонны – модального демпфирования в упругих телах и пропорционального демпфирования.

Использование аналитического soft-string решения для приближенной оценки начального положения модели в скважине рекомендуется для всех моделей, но дает особенно заметный эффект при моделировании протяженных колонн (stiff-string T&D анализ, Анализ динамики колонны).

Учет сил трения в контакте БК-скважина для расчета положения равновесия в скважинах, близких к вертикальным, может приводить к возникновению слабозатухающих автоколебаний. Рекомендуется отключать данную опцию, если решение не удастся найти со стандартными настройками.

3.6.2.7. Настройки модели балки

Для моделирования большинства элементов конструкции бурильной колонны используются балочные конечные элементы, уравнения которых записываются в абсолютных узловых координатах.



При использовании программы UM Drillstring Analysis в режимах Продвинутый пользователь и Разработчик доступны следующие настройки балочных элементов:

- **Учет силы тяжести**

Данная опция позволяет исключить силы тяжести из уравнений движения балочных элементов; опция может применяться для решения верификационных задач со сравнением с аналитическими решениями.

- **Учет сил инерции**

Данная опция позволяет исключить силы инерции, связанные с упругими деформациями балочного элемента из уравнений движения.

- **Нелинейная матрица жесткости**

Для описания уравнений движения балочного элемента может использоваться полная нелинейная матрица жесткости, либо ее упрощенный вариант. Учет нелинейности позволяет получать большую точность решения для протяженных элементов, игнорирование – более высокую производительность расчета с сохранением точности за счет использования более мелкой дискретизации модели (см. Раздел 3.2.1.5).

- **Коэффициент внутреннего демпфирования** определяет степень рассеяния энергии при упругих деформациях элемента, низкое значение приводит к слабому затуханию переходных процессов, слишком высокое – к неправдоподобному поведению модели.

3.6.2.1. Моделирование динамики БК

На панели **Моделирование динамики БК** расположены элементы управления настройками расчета *Анализ динамики колонны*.

В режиме *Продвинутого пользователя* доступно изменение следующих настроек.

Точность численного метода, применяющегося для решения уравнений движения модели, может быть выбрана ползунком, либо указана вручную.

Настройка **Сохранять результаты для частично рассчитанных сценариев** определяет будут ли считаться рассчитанными сценарии, для которых не было полностью закончено моделирование указанного временного интервала.

Опция **Управление целевой нагрузкой на долоте** *Панели управления* позволяет активировать режим, при котором пользователь может управлять значением осевой силы в верхней точке через промежуточную величину – *Целевая нагрузка на долоте*. Сила в верхней точке вычисляется как сумма заданного значения с разницей уровней силы на долоте и верхней точке, полученных при расчете начального положения компоновки в скважине.

4. Список литературы

- 1 Погорелов Д.Ю. Компьютерное моделирование динамики технических систем с использованием программного комплекса «Универсальный механизм» // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2005. №4. С. 27-34.
- 2 Сайт «Универсальный механизм» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.universalmechanism.com> (дата обращения: 07.02.2019).
- 3 Tucker R.W., Wang. C. Torsional vibration control and cosserat dynamics of a drill-rig assembly // Meccanica. 2003. Vol. 33. P. 145-161. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:102203582>.
- 4 Christoforou A. P., Yigit A. S. Fully coupled vibrations of actively controlled drillstrings // Journal of sound and vibrations. 2003. Vol. 257. No. 5. P. 1029-1045. DOI: 10.1016/S0022-460X(03)00359-6.
- 5 Sampaio R., Piovan M. T., Venero Lozano G. Coupled axial/torsional vibrations of drill-strings by means of non-linear model // Mechanics Research Communications. 2007. Vol. 34. No. 5-6. P. 497-502. DOI: 10.1016/j.mechrescom.2007.03.005.
- 6 Khulief Y.A., Al-Sulaiman F.A., Bashmal S. Vibration analysis of drill-strings with self-excited stick-slip oscillations // Journal of Sound and Vibration. 2007. Vol. 299. P. 540-558. DOI: 10.1016/j.jsv.2006.06.065.
- 7 Юнин Е.К. Низкочастотные колебания бурильного инструмента. М.: Недра, 1983. 132 с.
- 8 Пальмов В. А., Ветюков Ю. М. Неравномерное вращение бурильной колонны, обусловленное существенно нелинейным взаимодействием долота со скальной породой // Научно-технические ведомости СПбГТУ. 2003. № 4. С. 51-56.
- 9 Коронатов В.А. Новая динамическая модель бурильной колонны и численное описание крутильных автоколебаний во время проходки – углубления забоя скважины // [Системы. Методы. Технологии](#). 2015. № 1 (25). С. 48-59.



10 Погорелов Д.Ю., Павлюков А.Э., Юдакова Т.А., Котов С.В. Моделирование контактных взаимодействий в задачах динамики систем тел / В сборнике: “Динамика, прочность и надежность транспортных машин. Сборник трудов”. Брянск: БГТУ, 2002. С. 11-23.

11 E. Detournay, P. Defourny. A phenomenological model for the drilling action of drag bits // Int. J. Rock Mech. Min. 1992. Vol. 29. No. 1. P. 13-23.

12 Richard T., Germaу C., Detournay E. Self-excited stick-slip oscillations of drill bits // Mecanique. 2004. Vol. 332. P. 619-626. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crme.2004.01.016>.

13 Richard T., Germaу C., Detournay E. A simplified model to explore the root cause of stick–slip vibrations in drilling systems with drag bits // Journal of Sound and Vibration. 2007. Vol. 305. P. 432-456. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2007.04.015>.

14 Pogorelov D., Mikheev G., Lysikov N., Ring L., Gandikota R., Abedrabbo N. A multibody system approach to drill string dynamics modeling // Proc. ASME 11th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis (ESDA2012). 2012. Vol. 4. P. 53-62. DOI: 10.1115/ESDA2012-82316.

15 Dmitrochenko O., Mikheev G., Pogorelov D., Gandikota R. A nonlinear finite element for simulation of dynamics of beam structures using multibody system approach // Proc. 11th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI). 2014. P. 655-666.

16 Brakel, J.D. Prediction of wellbore trajectory considering bottom hole assembly and drillbit dynamics. PhD Thesis, University of Tulsa. 1986.

17 Spanos P. D., Chevallier A. M., Politis N. P. Nonlinear stochastic drill–string vibrations // Journal of Vibration and Acoustics. 2002. Vol. 124. No. 4. P. 512-518. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.1502669>.

18 Григорян Н.А., Багиров Р.Е. Анализ процесса турбинного бурения. М.: Недра, 1982. 207 с.

19 Спивак А.И., Попов А.Н. Разрушение горных пород при бурении скважин: учебник для вузов. М.: Недра, 1994. 264 с.



20 Калинин А.Г., Левицкий А.З., Мессер А.Г., Соловьев Н.В. Практическое руководство по технологии бурения скважин на жидкие и газообразные полезные ископаемые. Справочное пособие. М.: Недра, 2001. 450 с.

21 Stribeck, R. Die wesentlichen eigenschaften der gleit- und rollenlager// Zeitschrift Des Vereines Deutcher Ingenieure. 1902. Vol. 46. No. 36. P. 1341-1348, 1432-1438, 1463-1470.

22 Warren T.M. Penetration-Rate Performance of Roller-Cone Bits // SPE Drilling Engineering. 1987. Vol. 2. No. 1. P. 9-18.

DOI: <https://doi.org/10.2118/13259-PA>.

23 T.M. Warren. Factors affecting torque for a roller cone bit //Journal of Petroleum Technology. 1984. P. 1500-1508. DOI: <https://doi.org/10.2118/11994-PA>.

Sheppard M.C., Lesage M. The forces at the teeth of a drilling roller cone bit: theory and experiment // Society of Petroleum Engineers. 1988. SPE-18042. P. 253-260.