

## Семинар 5

Бурильная колонна. КНБК  
Работа бурильной колонны в скважине.

# Определение понятия «бурильная колонна», её состав и назначение.

**Бурильная колонна** – непрерывная многозвенная система инструментов, соединяющая наземное буровое оборудование (вертлюг) с долотом на забое скважины.

## Бурильная колонна состоит из:

- ведущей трубы;
- бурильных труб;
- утяжеленных бурильных труб;
- вспомогательных элементов КНБК.

## Бурильная колонна предназначена для:

- передачи вращения от ротора к долоту;
- восприятия реактивного момента забойного двигателя;
- подвода промывочной жидкости к долоту, гидравлическому забойному двигателю и забою скважины;
- создания осевой нагрузки на долото;
- спуска и подъема долота и забойного двигателя;
- проведения вспомогательных работ (проработка, расширка и промывка ствола скважины, испытание пластов, ловильные работы и др.).

# Требования к бурильной колонне

- 1) Проводка скважины в соответствии с разработанным проектом по заданной траектории на заданную глубину без аварий и осложнений.
- 2) Выдерживать нагрузки, возникающие в процессе бурения скважины.
- 3) Иметь, по возможности, минимальную стоимость и минимальный вес.
- 4) Коэффициент запаса прочности для всех секций должен быть одинаков.
- 5) БК должна быть стойкой к коррозионному и абразивному воздействию.
- 6) Гидравлические сопротивления должны быть минимальны.

# Стальные бурильные трубы

- Бурильные трубы с высаженными внутрь концами и соединительными муфтами.
- Бурильные трубы с высаженными наружу концами и соединительными муфтами.
- Бурильные трубы с высаженными внутрь концами и коническими стабилизирующими поясками.
- Бурильные трубы с высаженными наружу концами и коническими стабилизирующими поясками.
- Бурильные трубы с приварными соединительными концами.

## Марки сталей для изготовления СБТ

Д К Е Л М Р Т

→ увеличение прочности →

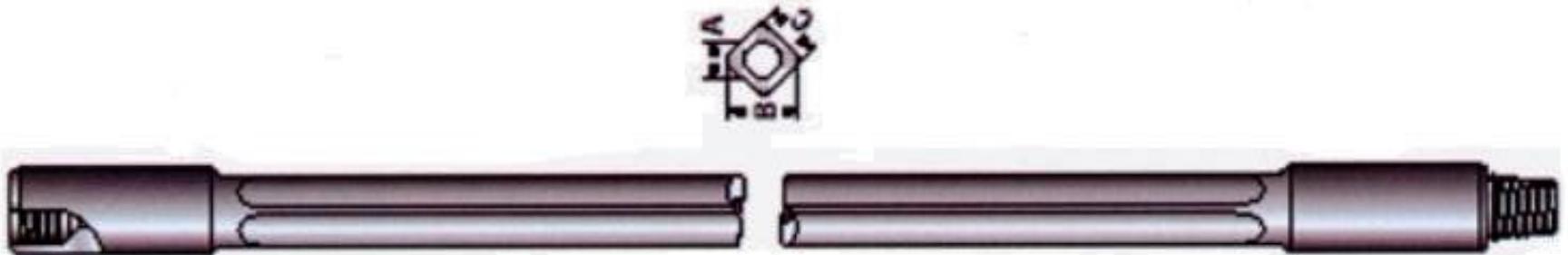
# Ведущая бурильная труба

**Назначение:** передача вращения от ротора на БК с одновременной подачей БК в скважину.

**Состоит:** штанга, верхний и нижний штанговые переводники.

**Длина:** 14 м.

**Сторона квадрата:** 80–150мм



# Бурильные трубы с высаженными внутрь(а) и наружу(б) концами и соединительные муфты к ним

1- труба

2- высаженный внутрь конец

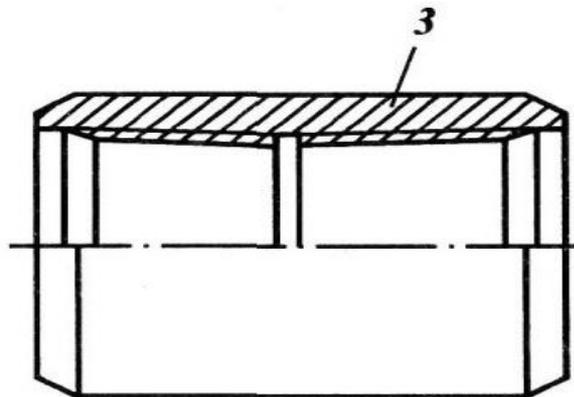
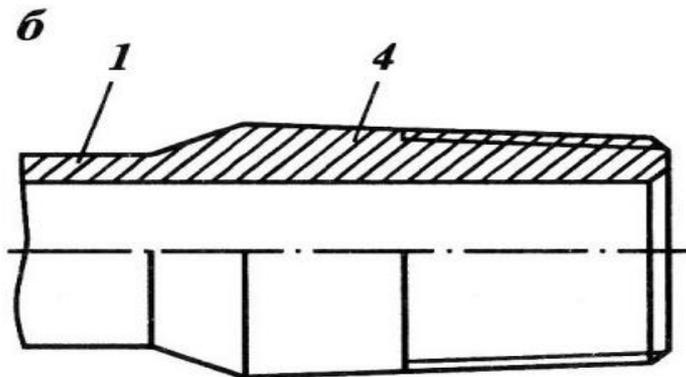
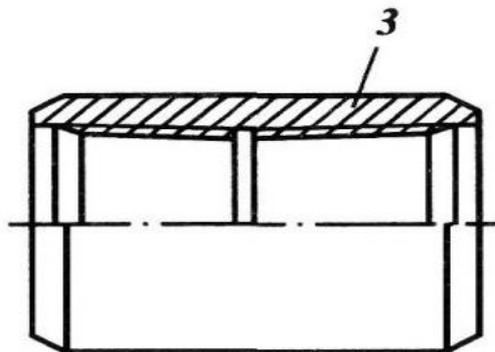
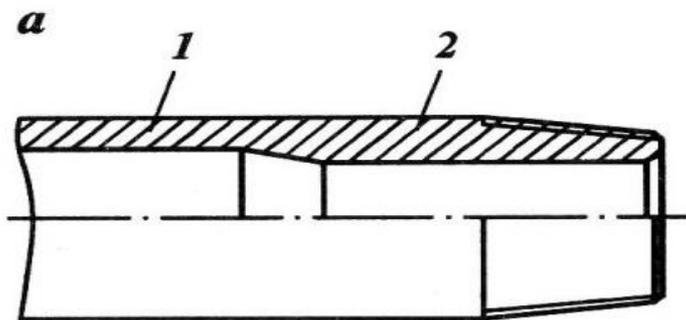
3- трубная муфта

4- высаженный наружу конец  
конец

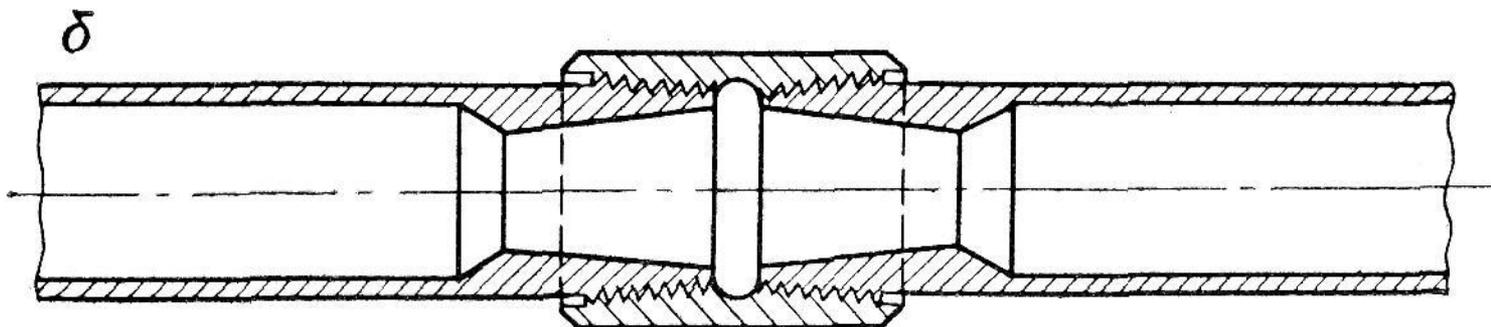
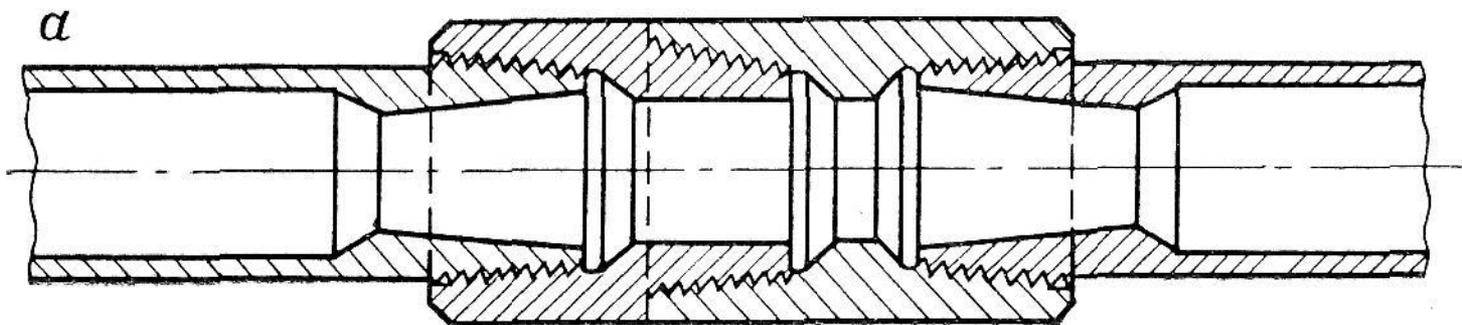
Диаметры: 114; 127; 140 (168 – ТБВ).

Длины: 6; 8; 11,5 м.

Толщина стенок: 7; 8; 9; 10; 11 мм.



# Соединение бурильных труб

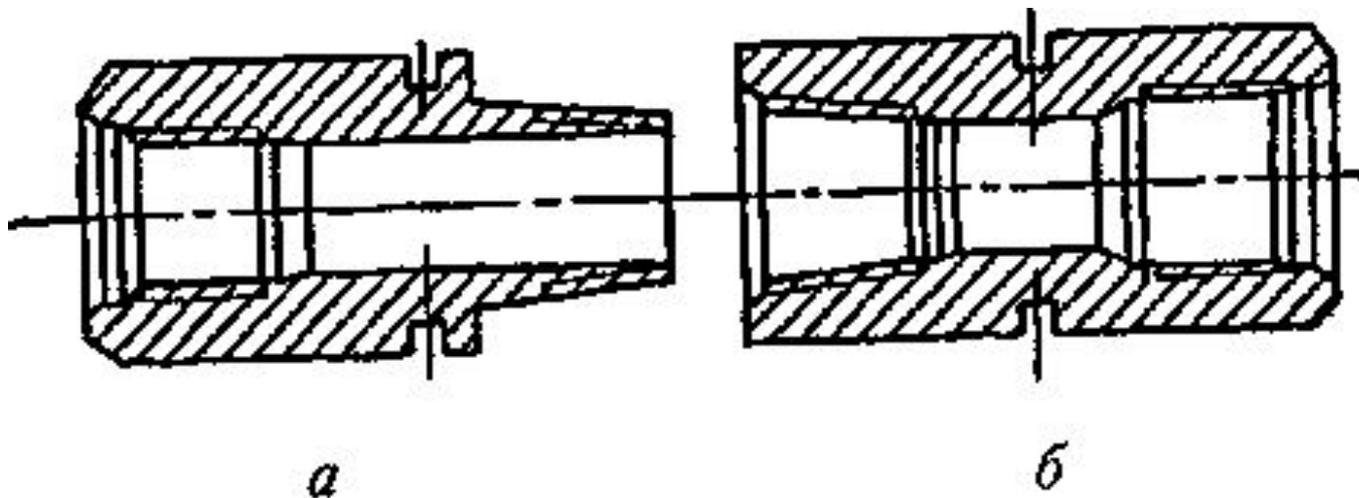


а – соединение с помощью бурильного замка;  
б – соединение с помощью муфты (двухтрубки).

# Бурильные замки

## С помощью бурильных замков достигается:

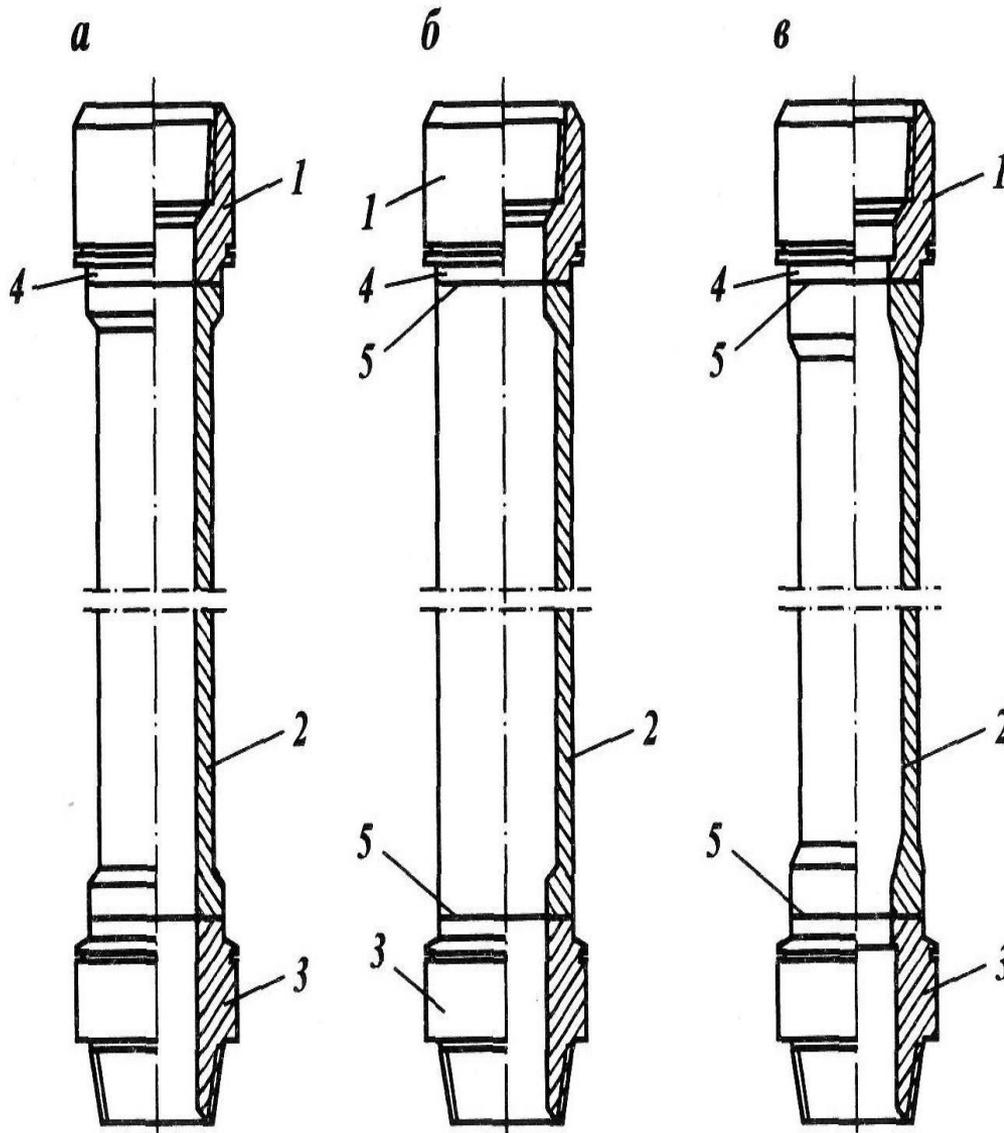
1. Ускорение процесса свинчивания и развинчивания БК.
2. Повышения герметичности резьбы.
3. Предохранение труб от износа бурильными ключами.



Бурильный замок:

а - замковый ниппель; б - замковая муфта

# Бурильные трубы с приварными замками



- а - с наружной высадкой
- б - с внутренней высадкой
- в - с комбинированной высадкой
- 1- замковая муфта
- 2- гладкая часть трубы
- 3- замковый ниппель
- 4- место маркировки трубы
- 5- сварной шов

# Утяжеленные бурильные трубы УБТ

Применяются для увеличения массы (веса) и жесткости бурильной колонны.

УБТ устанавливают в нижней части бурильной колонны.

Установка УБТ позволяет при относительно небольшой длине создавать частью их веса необходимую осевую нагрузку на долото.

## Типы УБТ:

- горячекатанные УБТ;
- сбалансированные (УБТС)

# Утяжеленные бурильные трубы.

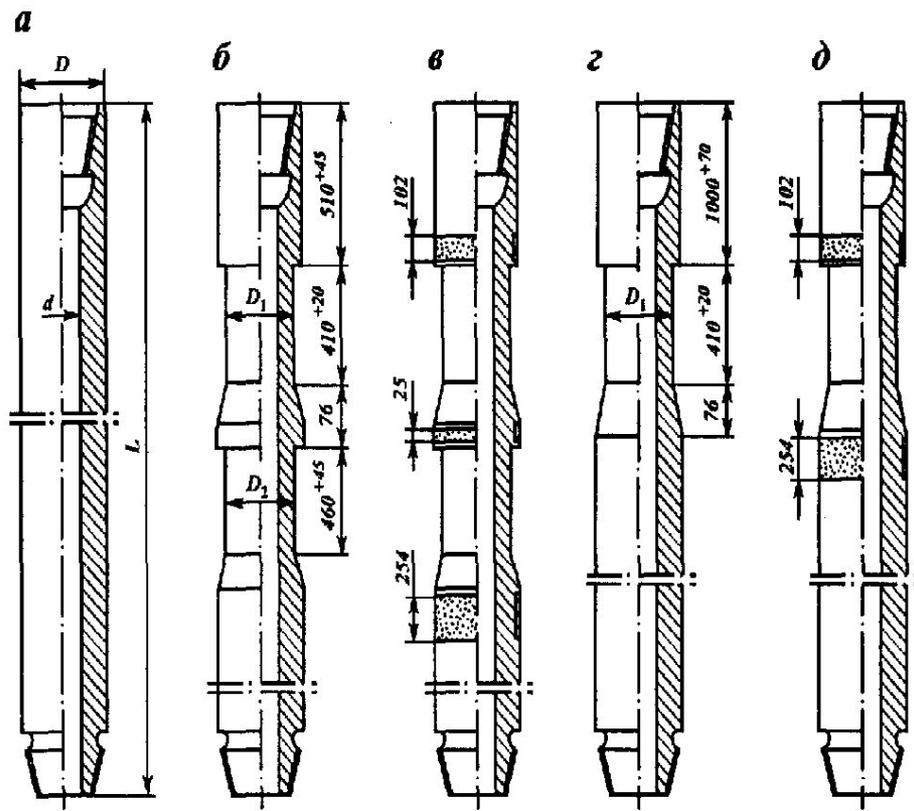


Рис. 8.7. Трубы бурильные утяжеленные круглого сечения:  
 а - типа А; б - типа Б; в - типа Б/1; г - типа Л; д - типа Л/1

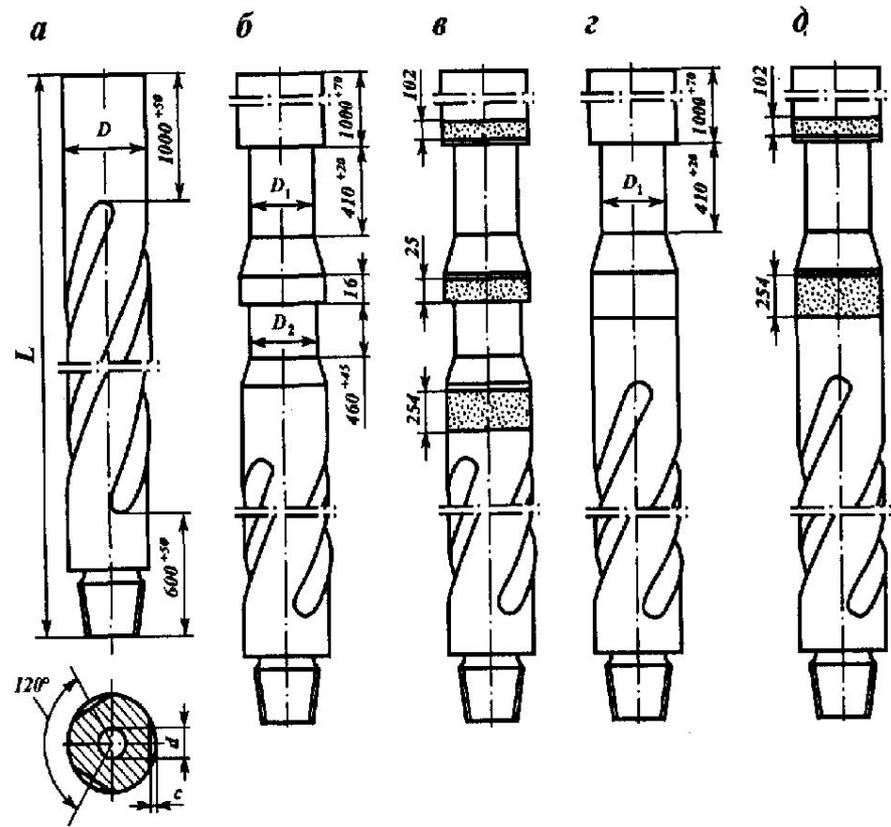


Рис. 8.8. Трубы бурильные утяжеленные со спиральными канавками (лысками):  
 а - типа Е; б - типа ЕН; в - типа ЕН/1; г - типа ЕЛ; д - типа ЕЛ/1

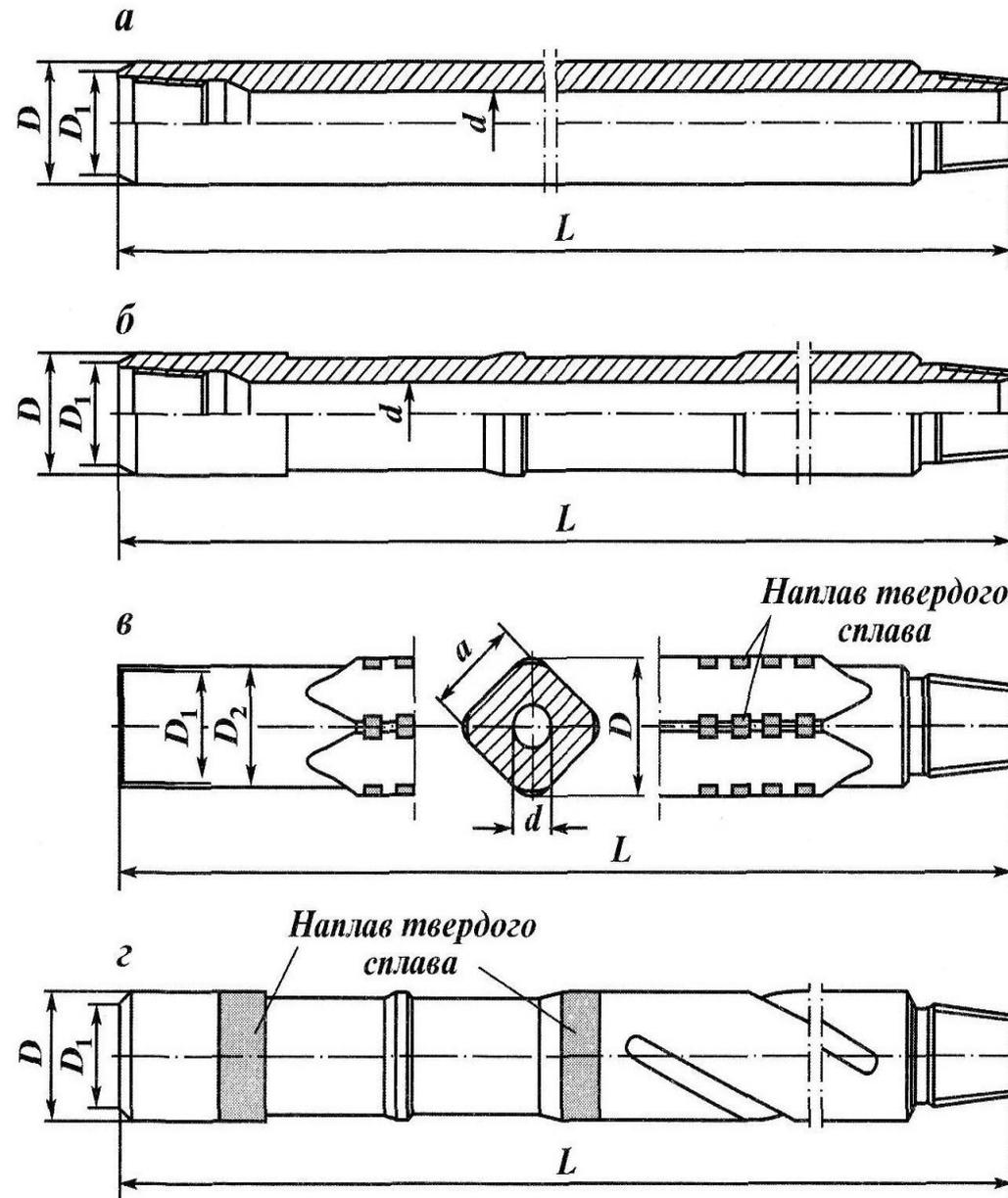
## Горячекатанные УБТ

а- труба гладкая по всей длине

б- с проточками

в- квадратного сечения

г- со спиральными канавками и проточками



# Влияние УБТ на форму бурильной колонны в нагруженном состоянии.

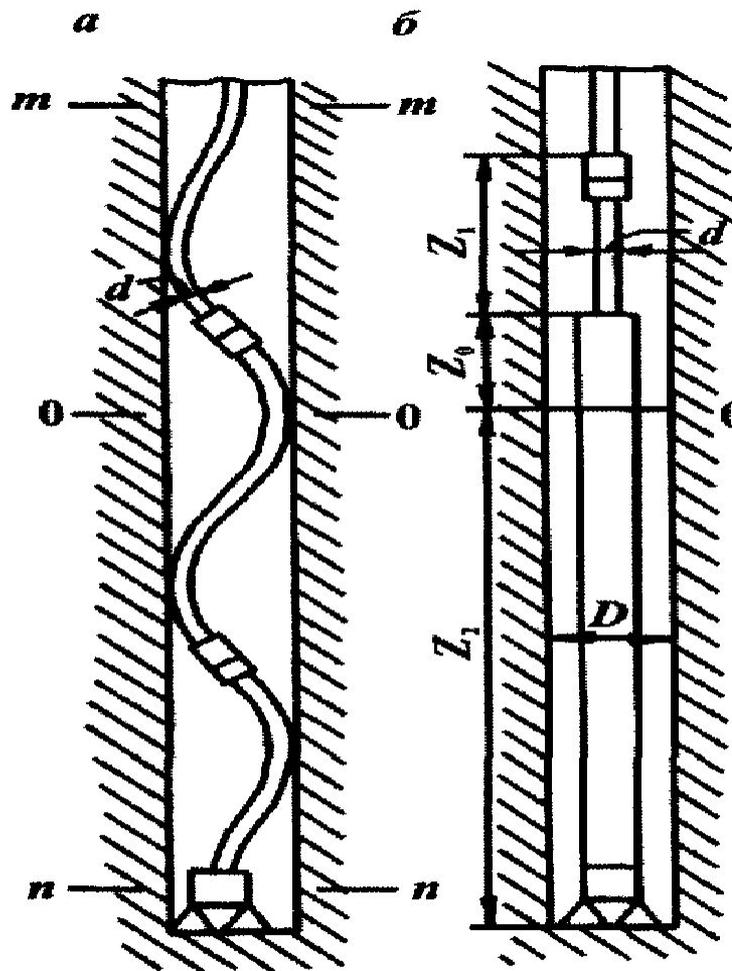


Рис. 4.11.  
Схема бурильной колонны в нагруженном состоянии без УБТ (а) и с УБТ (б)

# Легкосплавные бурильные трубы

Легкосплавные (алюминиевые) бурильные трубы ЛБТ (АБТ) сборной конструкции применяют при бурении с использованием гидравлических забойных двигателей.

ЛБТ изготавливают из алюминиевых сплавов Д-16Т и 1953Т1 (сплав Al – Cu – Mg).

## Преимущества ЛБТ:

- низкая плотность и масса погонного метра;
- высокая прочность;
- диамагнитность.

## Недостатки ЛБТ:

- снижение прочности при  $t > 150^{\circ} \text{C}$ ;
- нельзя эксплуатировать в щелочной среде при  $\text{РН} > 10$ .

## Преимущества алюминиевых бурильных труб в сравнении со стальными бурильными трубами.

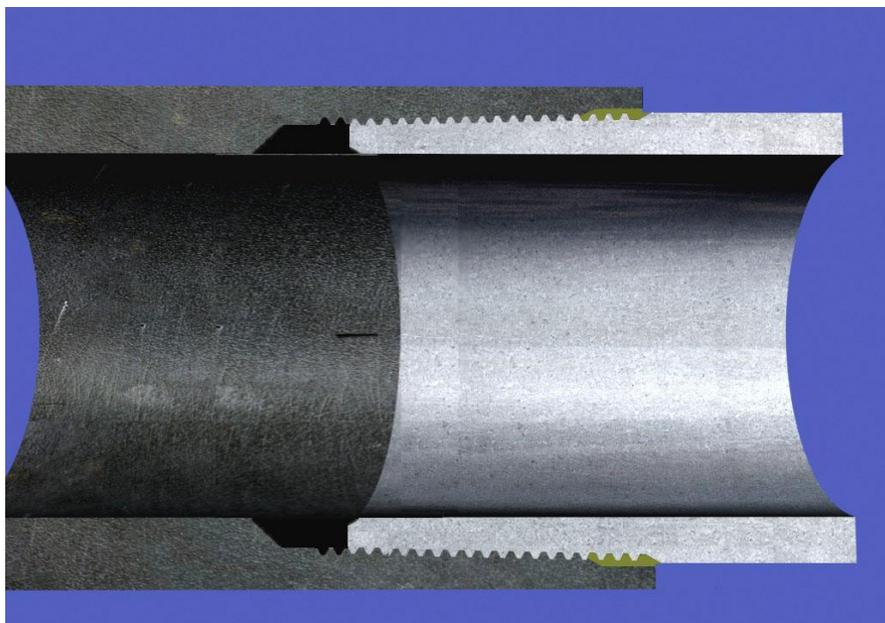
- Снижение требуемой грузоподъемности буровой установки;
- Снижение стоимости строительства скважины;
- Коррозионная стойкость при бурении в условиях высокого содержания сероводорода и углекислого газа;
- Немагнитные свойства;
- Снижение гидравлических потерь в бурильных трубах при циркуляции промывочной жидкости;
- Снижение сил сопротивления перемещению и вращению бурильной колонны в процессе бурения;
- Способность ЛБТ снижать интенсивность вибраций бурильной колонны;
- ЛБТ легко разбуриваются с целью ликвидации последствий прихватов бурильной колонны.

# Сравнение механических свойств материалов бурильных труб

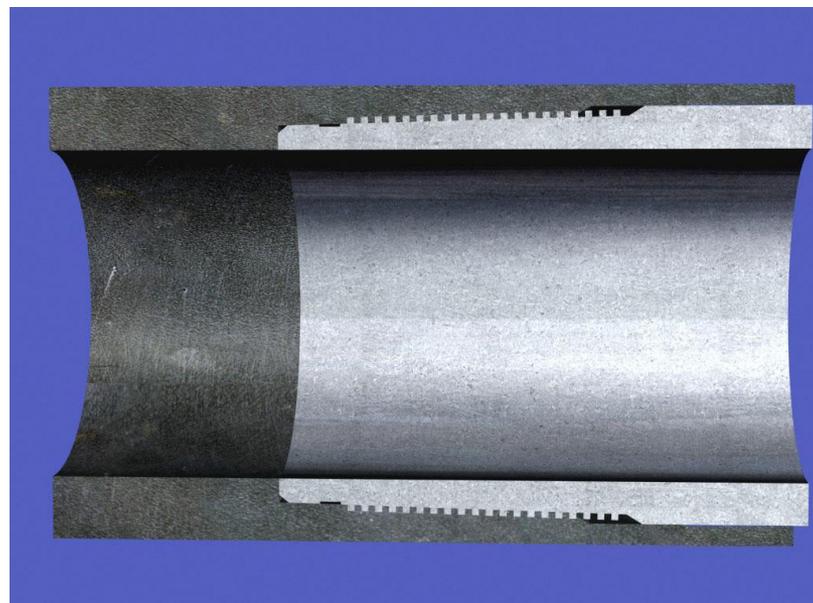
Материал	Плотность г/см <sup>3</sup>	Предел текучести МПа	Модуль продольной упругости МПа x 1000	Модуль сдвига МПа x 1000	Кoeff. Пуассона
Сталь Группа прочности М	<b>7.85</b>	<b>720</b>	<b>210</b>	<b>79</b>	<b>0.27</b>
<b>Алюминиевые сплавы</b>	<b>2.78</b>	<b>480</b>	<b>71</b>	<b>27</b>	<b>0.30</b>

## Конструктивные особенности трубных соединений у серийных ЛБТ и ЛБТПН

Серийные ЛБТ (с  
треугольной безупорной  
резьбой)

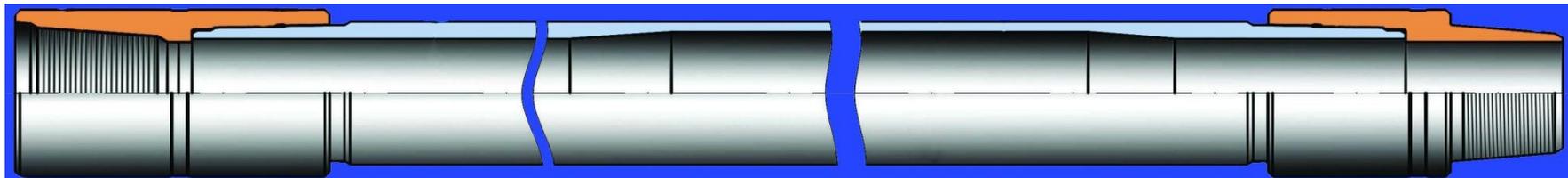


ЛБТПН (трапециидальная  
резьба, конический  
стабилизирующий пояс,  
наличие упорного торца)

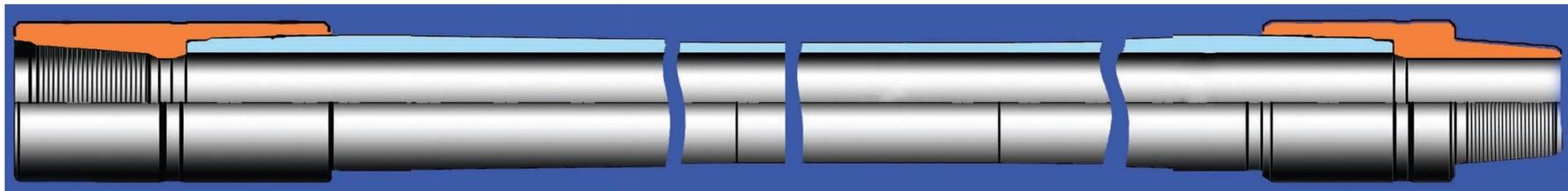


# Легкосплавные бурильные трубы повышенной надежности (ЛБТПН)

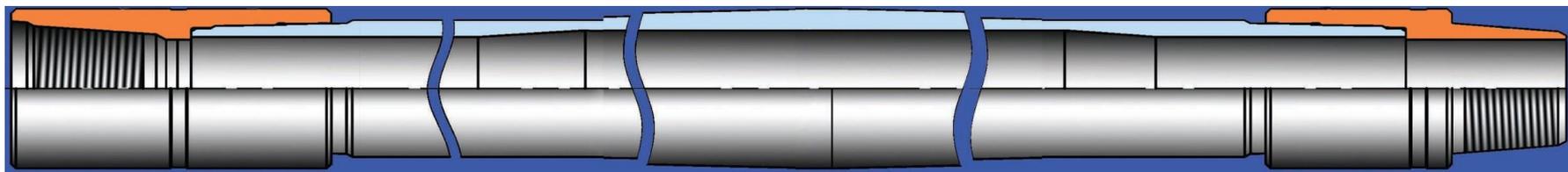
## ЛБТПН с внутренними высадками



## ЛБТПН с наружными высадками

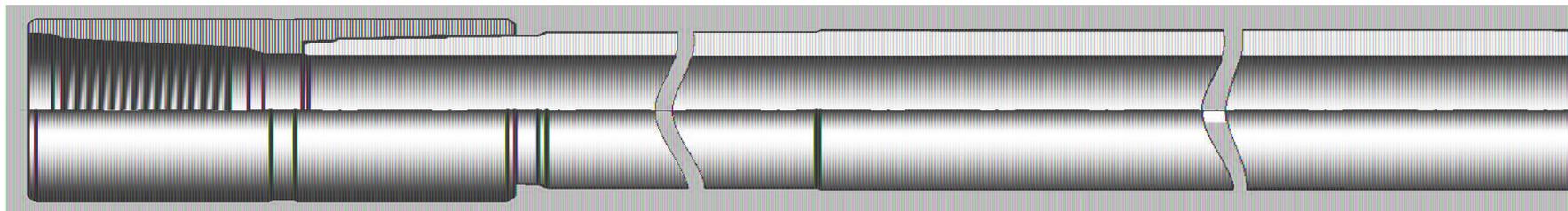


## ЛБТПН с протекторным утолщением

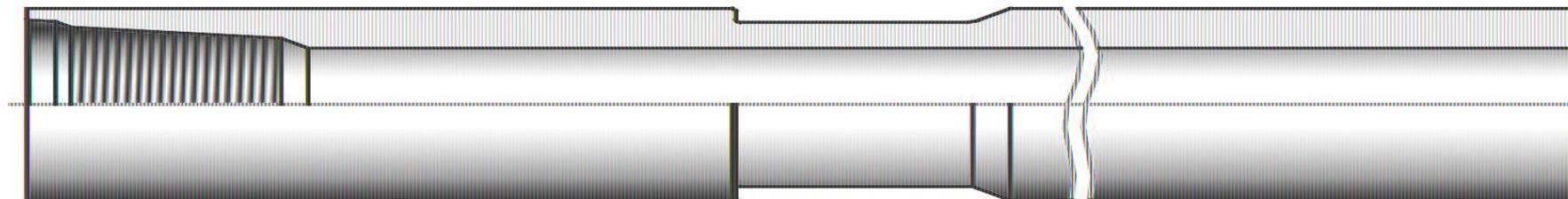


# Бурильные трубы специального назначения

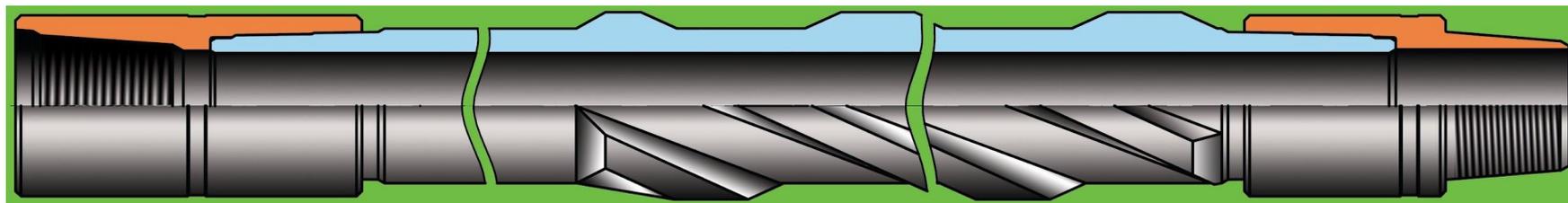
## Утолщенные легкосплавные бурильные трубы ЛБТПН-У



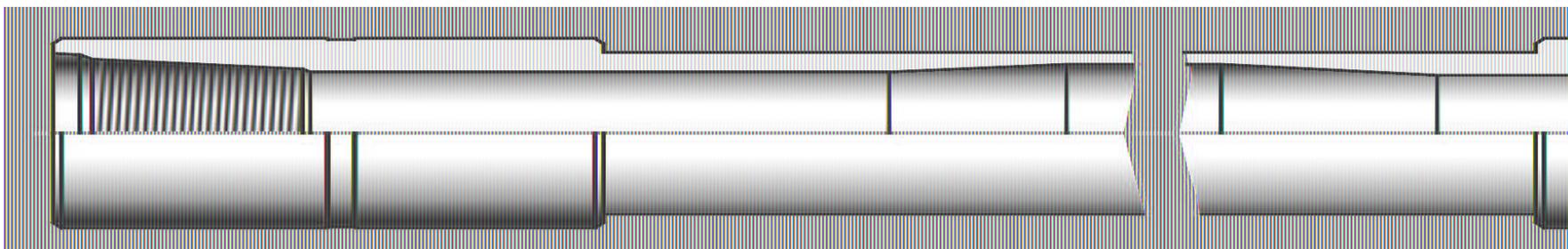
## Утолщенные легкосплавные безмуфтовые бурильные трубы УЛБТ



## Легкосплавные спиральные бурильные трубы ЛБТПН-С



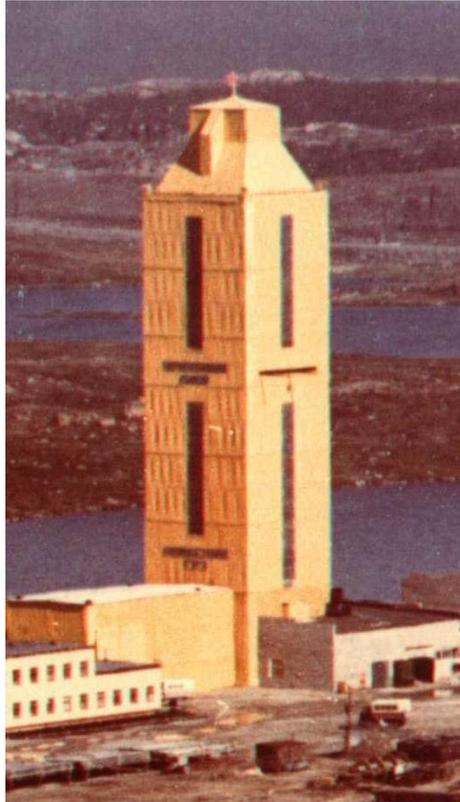
# Легкосплавные беззамковые бурильные трубы ЛБТ-БЗ



## Назначение ЛБТ-БЗ

- Установка цементных мостов;
- Спуск и крепление хвостовиков;
- Бурение в интервалах неустойчивых горных пород;

## Условия бурение Кольской СГ-3



Глубина скважины	12262 м
Разрез ствола	кристаллический фундамент
Зенитный угол у забоя	12°
Температура на забое	220°C

Вес бурильной колонны в растворе	2200 кН
Суммарные силы сопротивления	1100 кН
Крутящий момент (при 6 об/мин)	32 кНм
Производительность насосов	34 л/с
Рабочее давление	26 МПа

# Вспомогательные элементы бурильной колонны

**Центраторы** – для центрирования нижнего направляющего участка бурильной колонны в стволе скважины и предупреждения его самопроизвольного искривления.

**Калибраторы** – для выравнивания стенок скважины до номинального диаметра и калибрования ее ствола (лопастные, шарошечные).

**Стабилизаторы** – для стабилизации работы нижнего направляющего участка бурильной колонны путем ограничения прогиба труб при наличии каверн, гашения поперечных и иных колебаний.

**Амортизаторы** – для снижения амплитуды динамических нагрузок.

- пружинные;
- резинометаллические;
- гидравлические;
- газовые.

**Обратные клапаны** – для предупреждения поступления загрязненного бурового раствора в бурильную колонну.

**Фильтры** – для предупреждения попадания в бурильную колонну посторонних предметов.

**Металлошламоуловители** – для улавливания кусков металла и крупного шлама.

**Гидрояссы (гидроударники)** – для освобождения бурильной колонны от прихватов.

**Переводники** – для соединения бурильных труб и др. элементов.

# Центраторы

Центратор это опорно-центрирующий элемент в составе КНБК, служащий промежуточной опорой БК о стенки скважины. Обеспечивает уменьшение прогиба КНБК. Выполняются с прямыми ребрами и спиральными ребрами.

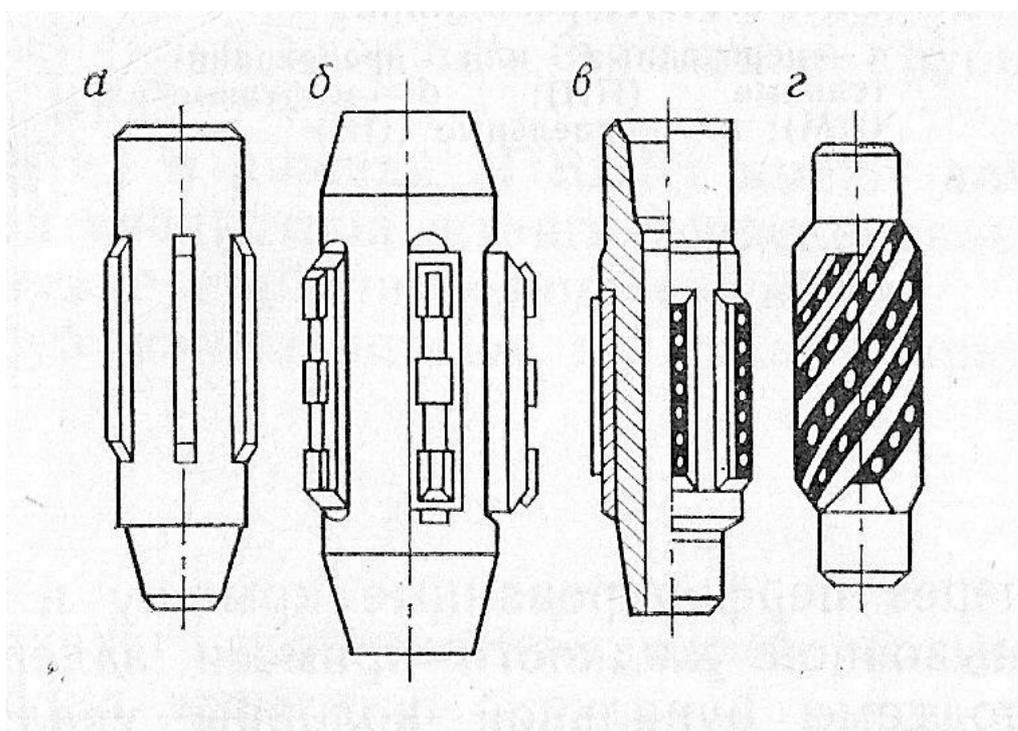
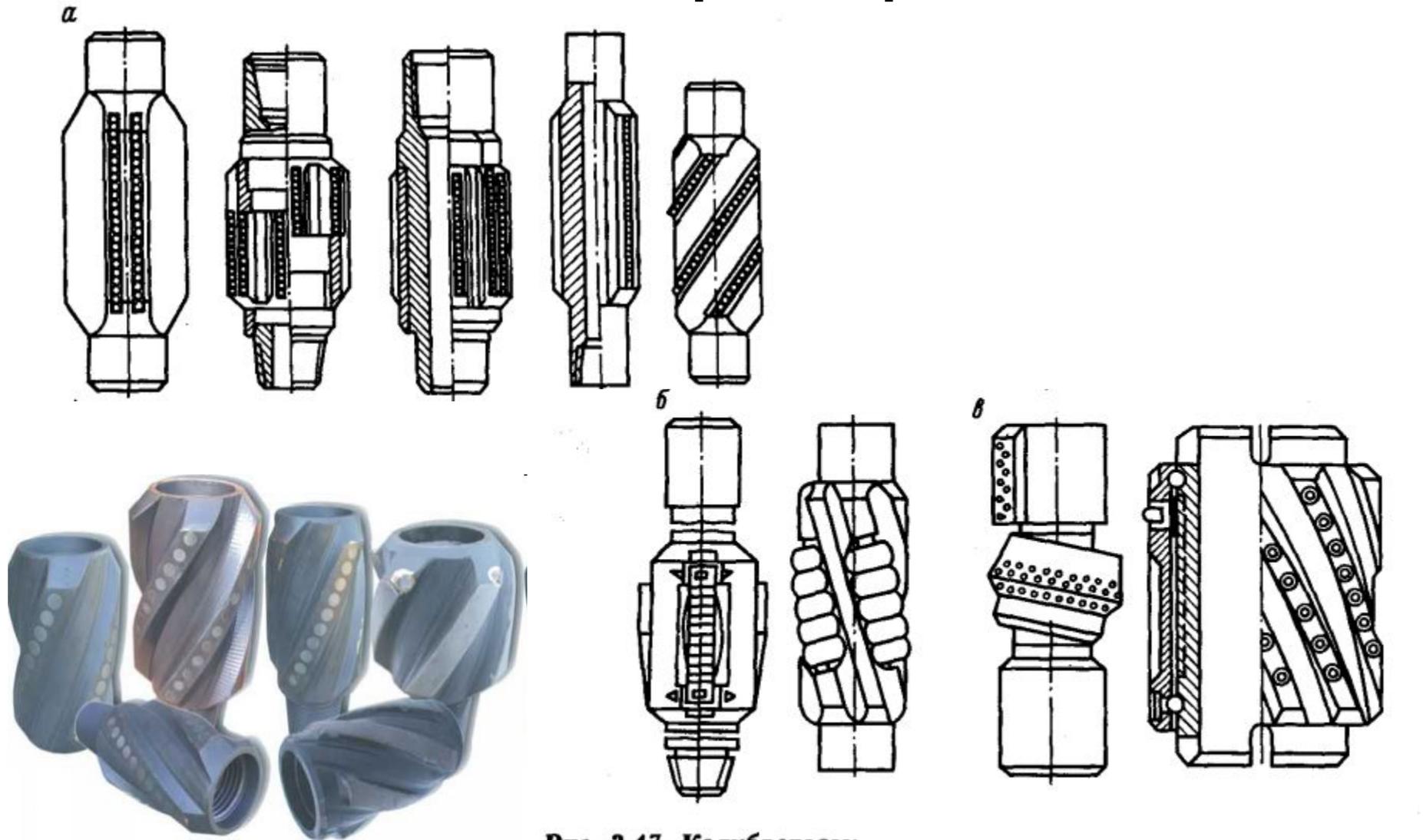


Рис. 5.16. Центраторы:

*a, б, в* — с планками, расположенными по образующим корпуса; *г* — со спиральными планками

# Калибраторы



**Рис. 2.17. Калибраторы:**

*а* – лопастные; *б* – шарошечные; *в* – на шаровой опоре (РОП и ЦРП)

# Амортизаторы наддолотные

Амортизаторы устанавливают в БК между долотом и УБТ для гашения колебаний БК, возникающих при работе долота на забое скважины. Снижение вибрационных нагрузок приводит к увеличению ресурса работы БК, повышению стойкости долота.

По принципу действия и конструкции выделяют демпфирующие устройства двух типов:

- амортизаторы-демпферы, включающие упругие элементы (стальная пружина механического действия, резиновые кольца или шары, другие элементы);
- виброгасители-демпферы гидравлического или гидромеханического действия (поглотители гидравлических ударов, гидроакустические ловушки и др.).

# Свечи

- Свеча – комплект, состоящий из 2-х или 3-х бурильных труб для снижения времени на свинчивание и развинчивание.

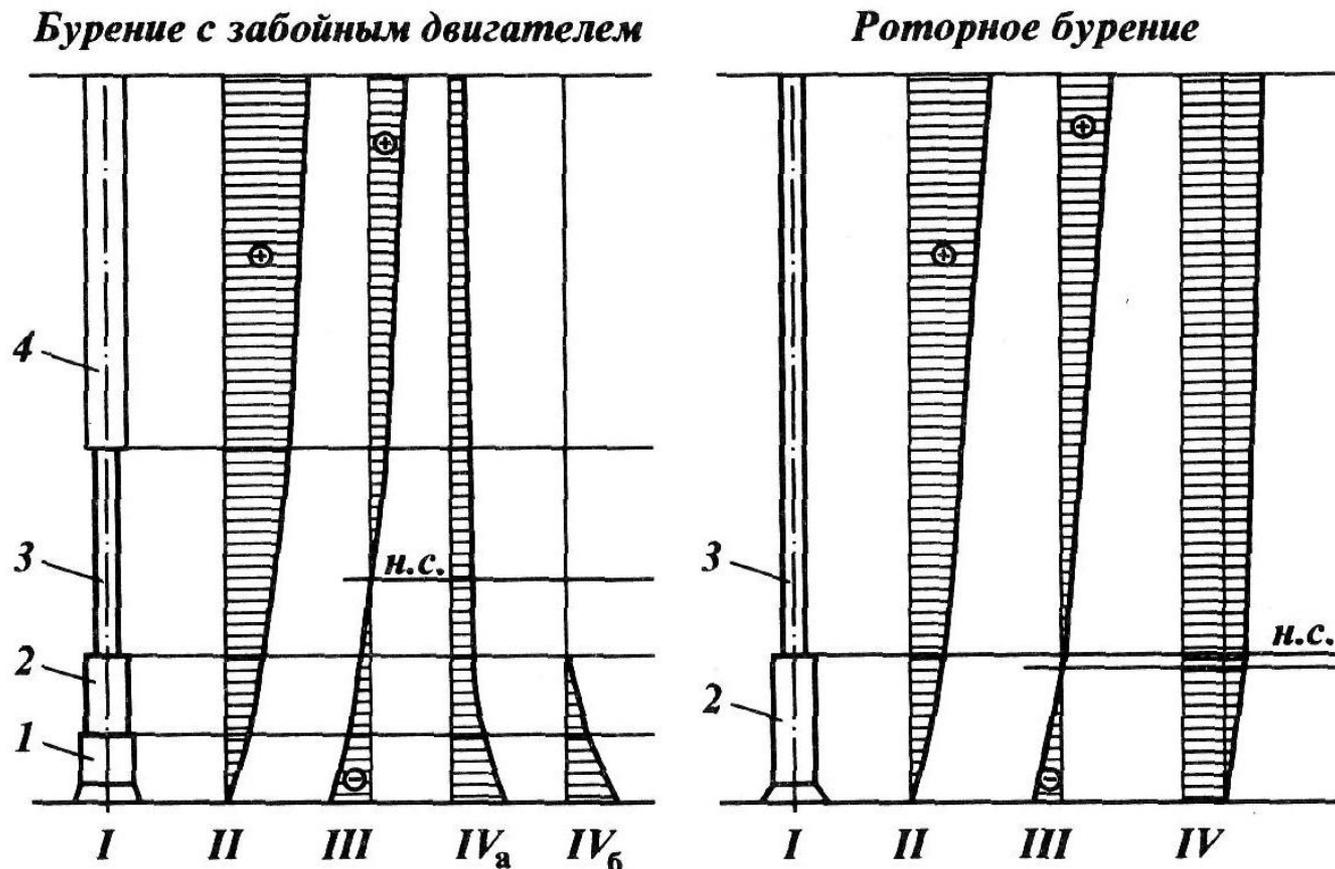


# Основы проектирования бурильной колонны.

## Условия работы бурильной колонны при бурении.

- Сложное напряженное состояние материала бурильных труб (некоторые виды нагрузок не поддаются точному определению);
- Наличие мест концентрации напряжений (резьбовые соединения, резкие изменения свойств материала труб и т.д.);
- Коррозионное и температурное воздействие среды;
- Абразивный износ внутренней и наружной поверхности бурильных труб и бурильных замков;
- Наличие интенсивных продольных, поперечных и крутильных колебаний бурильной колонны в процессе бурения.

# Условия нагружения бурильной колонны при бурении ГЗД и ротором



## Эпюры осевых усилий и моментов в бурильной колонне:

*I* – схема компоновки бурильной колонны; *II* – эпюра осевых усилий при ненагруженном долоте; *III* – эпюра осевых усилий в процессе бурения; *IV* – эпюра крутящего момента в процессе бурения (*a* – реактивный крутящий момент достигает устья; *б* – реактивный крутящий момент не достигает устья); н.с. – условно нейтральное сечение. 1 – забойный двигатель; 2 – утяжеленные бурильные трубы; 3 – колонна СБТ; 4 – колонна ЛБТ

## Последовательность расчета бурильной колонны.

- Расчет бурильной колонны на продольную устойчивость с учетом влияния бурильных замков и протекторных утолщений в средней части бурильных труб.
- Расчет напряжений от действия осевых и изгибающих нагрузок и кручения при различных способах бурения.
- Определение наименьшего значения коэффициента запаса прочности бурильной колонны в заданных условиях.
- Оценка снижения прочностных свойств бурильных труб под действием усталостных напряжений и высокой температуры.

## Коэффициент запаса прочности бурильной колонны $K$ .

$$K = \sigma_T / \sigma_{\text{экв}}$$

где:  $\sigma_T$  – предел текучести материала бурильной трубы;

$\sigma_{\text{экв}}$  – эквивалентное напряжение, определяемое как результат совместного действия растягивающих, изгибающих и касательных напряжений в сечении бурильной колонны;

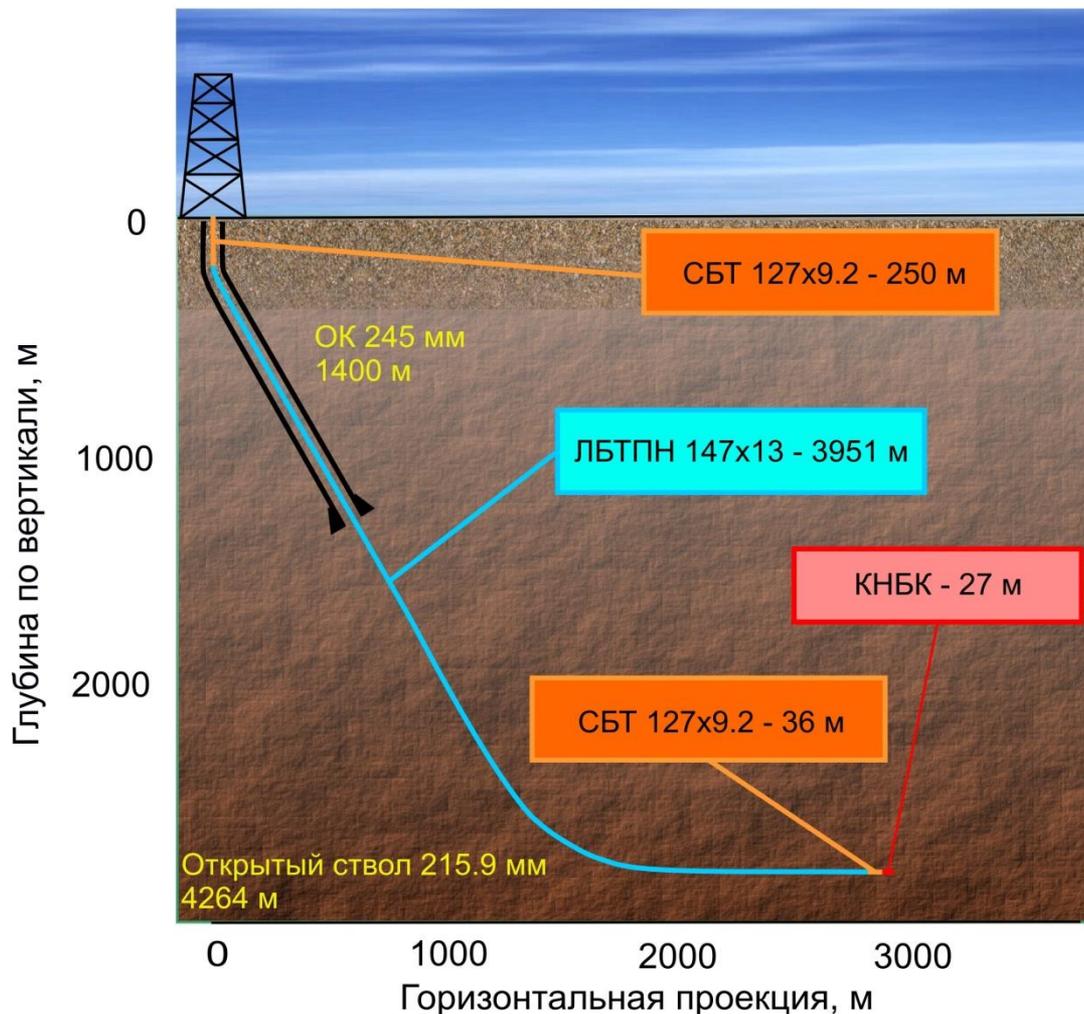
***Примечание:*** Значение коэффициента  $K$  определяется в процессе прочностных расчетов для каждого сечения бурильной колонны. Далее выбирается наиболее опасное сечение где коэффициент  $K$  имеет наименьшее значение.

# Пример расчета БК для бурения скважины с горизонтальным окончанием.

Буровая установка  
грузоподъемностью 125  
тонн  
Глубина скважины  
по стволу 4264 м  
Мех. скорость – 9 м/час

## Параметры бурения:

Скорость вращения 60 об/мин  
Нагрузка на долото – 80 кН  
Плотность раствора – 1050  
кг/м<sup>3</sup>  
Расход насосов - 25 л/с



## Результаты сравнения различных вариантов компоновки бурильной колонны

Параметры	СБТ	ЛБТПН и СБТ
<b>Бурение на максимальной глубине</b>		
Суммарный вес в растворе, кН	1348	647
Вес на крюке, кН	722	301
Суммарные силы сопротивления, кН	120	51
Крутящий момент, кНм	32.3	17.4
Коэффициент запаса прочности	2.32	2.41
Гидравлические потери, МПа	20.1	16.6
<b>Подъем бурительной колонны с максимальной глубины</b>		
Вес на крюке, кН	1519	684
Суммарные силы сопротивления, кН	616	270
Коэффициент запаса прочности	2.26	2.53

Использование колонны из СБТ потребует применение буровой установки грузоподъемностью 200 тонн

# Пример расчета БК для бурения скважины на шельфе.

Компоновка с СБТ

КНБК- 30 м

СБТ-5", S-135 – 5900 м

СБТ-5 ½", S-135 – 3270

М

Параметры бурения

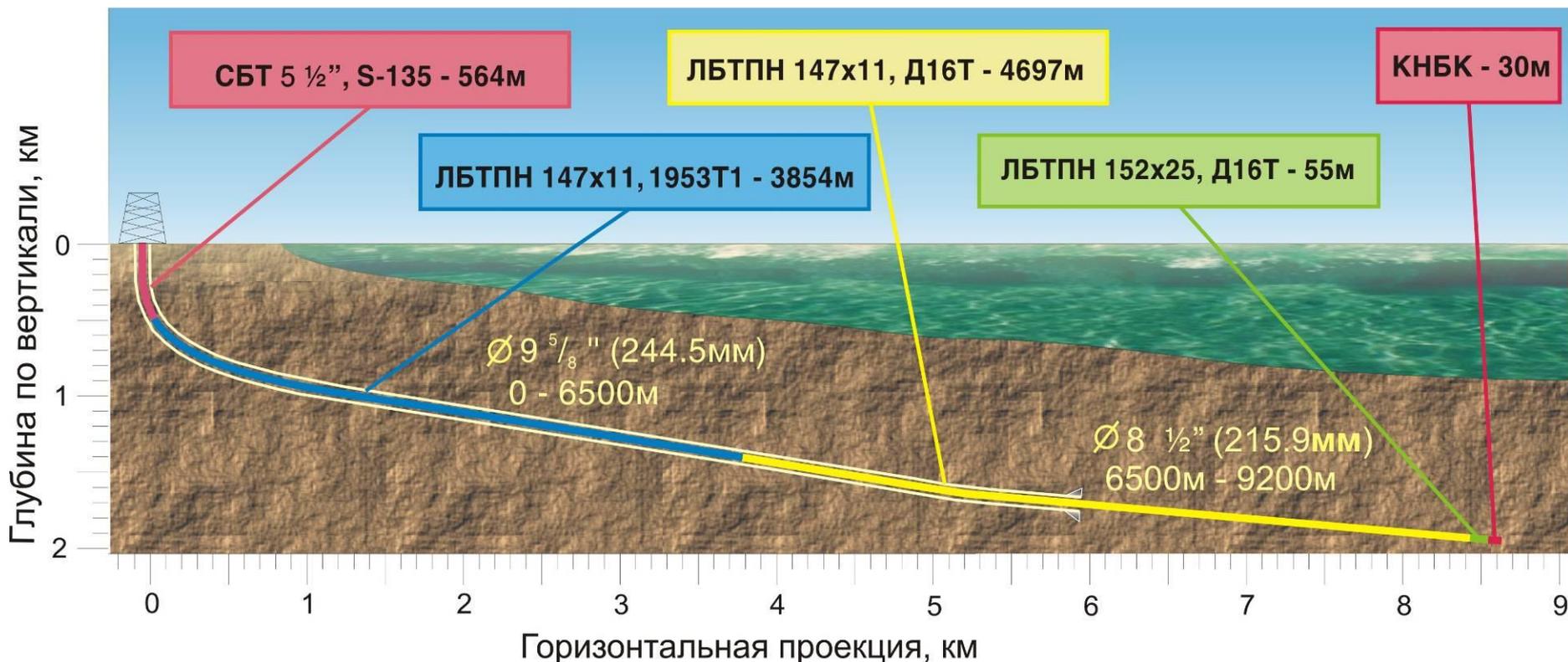
Производительность насосов 25 л/сек

Плотность бурового раствора – 1220 кг/м<sup>3</sup>

Скорость проходки 0.2 м/мин

Скорость вращения 60 об/мин

Нагрузка на долото 80 кН



# Результаты расчетов бурильной колонны. Бурение

<b>Параметры</b>	<b>Компоновка из СБТ</b>	<b>Компоновка из ЛБТПН и СБТ</b>
<b>Проектная длина ствола, м</b>	<b>9200</b>	
<b>Вес в буровом растворе, т.</b>	<b>2811</b>	<b>1397</b>
<b>Нагрузка на крюке, кН</b>	<b>363</b>	<b>236</b>
<b>Суммарные силы сопротивления, кН</b>	<b>167</b>	<b>59</b>
<b>Крутящий момент кН·м</b>	<b>49</b>	<b>24</b>
<b>Минимальный запас прочности</b>	<b>2,77</b>	<b>2,82</b>
<b>Минимальный запас по потере продольной устойчивости 1 рода</b>	<b>2,66</b>	<b>1,81</b>
<b>Гидравлические потери, МПа</b>	<b>27,2</b>	<b>24,2</b>
<b>Удлинение БК, м</b>	<b>6,3</b>	<b>11,4</b>

# Результаты расчетов бурильной колонны. Спуск и подъем

Параметры	СБТ		ЛБТПН и СБТ
	Без вращения	Вращение	Без вращения
<b>2.1. С П У С К</b>			
Длина по инструменту, м	7510	9200	9200
Нагрузка на крюке, кН	50	63	109.3
$\Sigma$ силы сопротивления, кН	510	552	161
Крутящий момент кН·м	-	51	-
Запас продольной устойчивости	1,37	1,44	1,6
Удлинение БК, м	3,9	5,1	10,9
<b>2.2. П О Д Ъ Е М</b>			
Нагрузка на крюке, кН	1474		723
$\Sigma$ силы сопротивления, кН	878		355
Удлинение БК, м	11,9		17,9
Мин.запас прочности	2,7		4,5

Конец семинара №5