

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Институт природных ресурсов  
Кафедра бурения скважин



# Геонавигация в бурении

*Научно-технический семинар*

**Автор: Епихин А.В.  
ст. преп. каф. бурения скважин**

Томск-2017 г.



# Лектор

***Епихин Антон Владимирович***

старший преподаватель каф. бурения скважин

***Контакты:*** ул. Усова 9, ауд. 108

***тел.:*** 8-913-877-05-37 (до 21:00)

***E-mail:*** [epikhinav@mail.ru](mailto:epikhinav@mail.ru)

***Сетевые ресурсы:***

<http://vk.com/epikhinav>

<https://vk.com/pubepikhinav>

<https://vk.com/syndref>

<http://portal.tpu.ru/SHARED/e/EPIKHIN>



# Содержание лекционных занятий

№ п/п	Тема лекции
1	Вводная часть. Терминология. Общие сведения об искривлении скважин.
2	Причины и закономерности естественного искривления скважин
3	Проектирование профилей наклонно-направленных скважин
4	Типы КНБК. Проектирование и управление КНБК.
5	Оборудование для наклонно-направленного бурения.
6	Измерение искривления скважин. Контроль за проводкой направленных скважин, расчеты координат. Ориентирование отклонителей.
7	Бурение наклонно-направленных скважин: общие и частные случаи. Бурение скважин с кустовых площадок
8	Бурение скважин с горизонтальным участком ствола. Горизонтально-направленное бурение.
9	Бурение дополнительных стволов. Многоствольное и многозабойное бурение. Радиальное бурение. Другие специальные виды направленного строительства скважин.

***По каждой лекции тест. Для допуска к экзамену все тесты должны быть на писаны на 75% и выше.***



# Реферат

1. Многоствольное бурение.
2. Многозабойное бурение.
3. Горизонтально-направленное бурение.
4. Радиальное бурение.
5. Зарезка боковых стволов.
6. Бурение горизонтальных скважин.
7. Наклонно-направленные скважины для извлечения тяжелых нефтей.
8. Роторные-управляемые системы типа push-the-bit.
9. Роторные-управляемые системы типа point-the-bit.
10. Искривленные забойные двигатели (ДРУ, ТО, ШО и т.п.).
11. Клинья-отклонители.
12. Классификация КНБК для наклонно-направленных скважин.
13. Механизмы естественного искривления скважин.
14. Профили скважин и их проектирование.
15. Очистка ствола направленных и горизонтальных скважин от шлама.
16. Телеметрические системы с гидравлическим каналом связи.
17. Телеметрические системы с электромагнитным каналом связи.
18. Специальные породоразрушающий инструмент для наклонно-направленного бурения.
19. Особенности заканчивания горизонтальных, многоствольных и многозабойных скважин.



# Научно-технические семинары

1. Бурение направленной скважины в осложненных геологических условиях.
2. Оптимальная система разработки многопластовой залежи.
3. Бурение «в слепую».
4. Направленная скважина без технических средств искривления.
5. Конструктор КНБК.

1 семинар = 45 минут

Оценка преподавателя

Оценка одногруппников

Лучший рейтинг – автомат по дисциплине



## **Тема №1**

# ***Определения, основные понятия и термины.***



**Направленное бурение** - это бурение скважин с использованием закономерностей естественного искривления и с помощью технологических приемов и технических средств для вывода скважины в заданную точку. При этом искривление скважины обязательно подвергается контролю и управлению.

*«Направленное бурение является скорее **искусством**, чем наукой, поскольку в нем нет жестких формул и номограмм, подтверждающих правильность и однозначность выбора решения. При этом **не существует замены человеку**, который, ведя направленное бурение, представляет условия, существующие на забое скважины, и знает, каким способом вывести скважину в нужном направлении. Этому искусству или мастерству **может быть обучен далеко не каждый**. Для этого требуется скорее **талантливый**, чем образованный человек».*

(История и современное состояние развития направленного бурения в США, Бурение, 1974, т.35 №8)



## Отрицательные последствия искривления скважин

- Повышенный износ инструмента.
- Увеличение нагрузки на крюке.
- Повышенный расход мощности на вращение колонны.
- Дополнительные нагрузки на забойные двигатели, УБТ, бурильные трубы за счет изгиба.
- Уменьшение устойчивости стенок скважины.
- Образование желобных выработок в стволе.
- Удлинение скважины.
- Дополнительные затраты времени на измерение искривления.





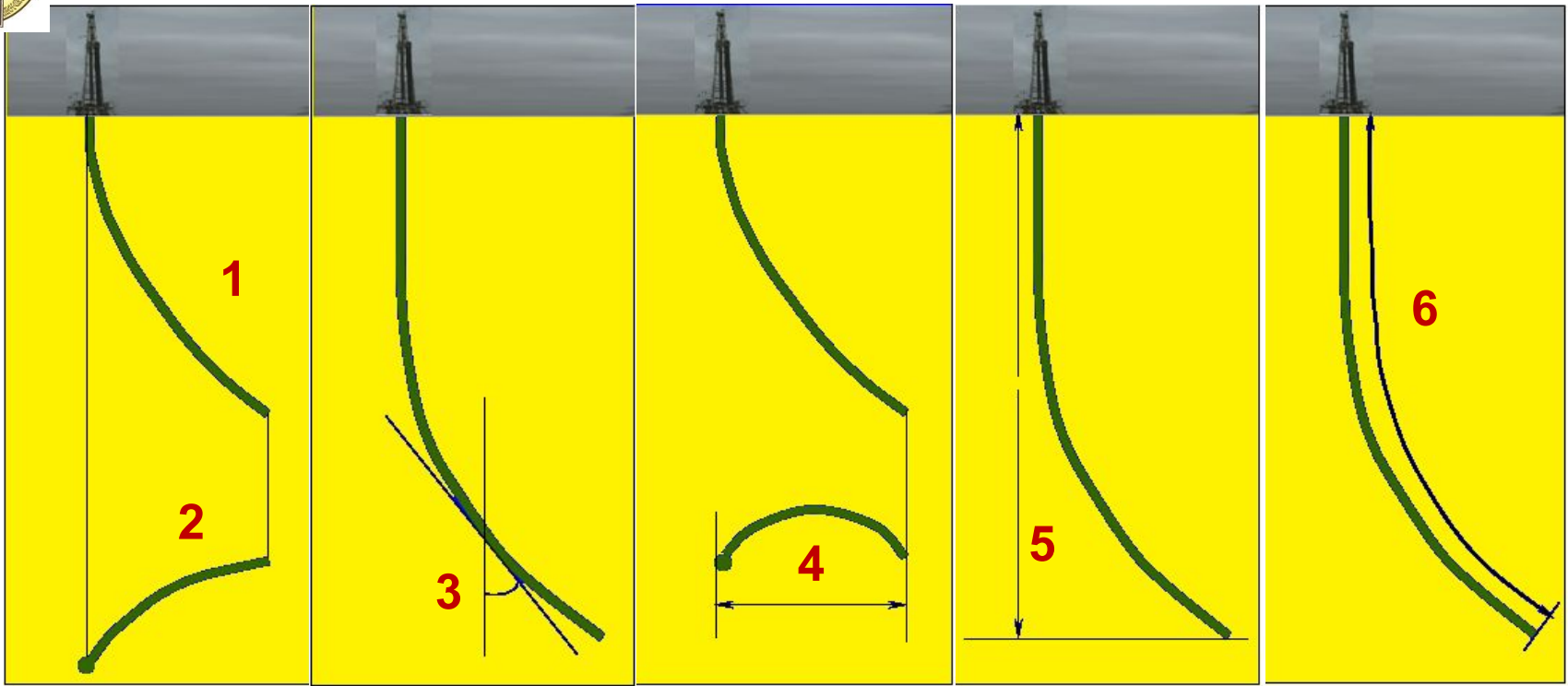
# Области применения направленного бурения

Бурение под море, озера и искусственные сооружения.

- Бурение с площадок ограниченных размеров по условиям рельефа.
- Разработка крутопадающих залежей углеводородов.
- Кустовое бурение.
- Бурение горизонтальных скважин.
- Бурение дополнительных стволов из бездействующих скважин.
- Многозабойное (радиальное) бурение.
- Бурение с морских буровых платформ и насыпных оснований.
- Обход мест сложных аварий.
- Обход зон обвалов, поглощений.
- Глушение фонтанов.



# Термины и определения



Найдите соответствия?

*Профиль*

*План*

*Длина*

*Глубина*

*вертикали*

*Отход*

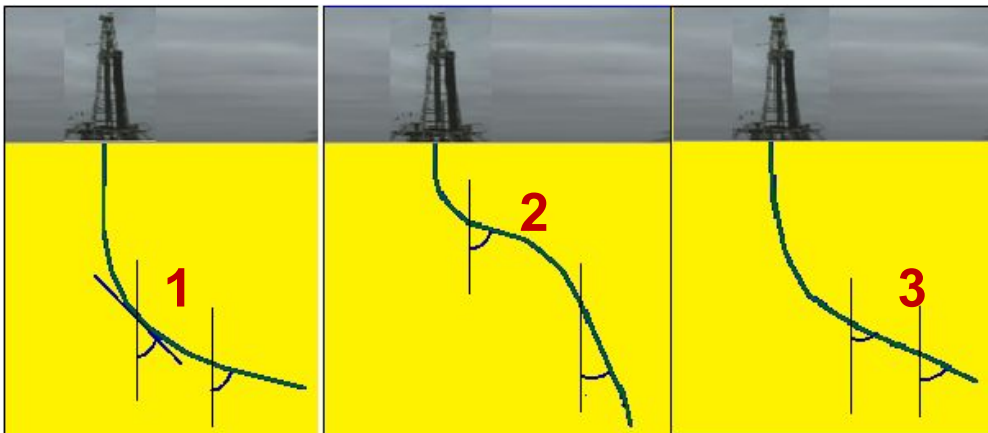
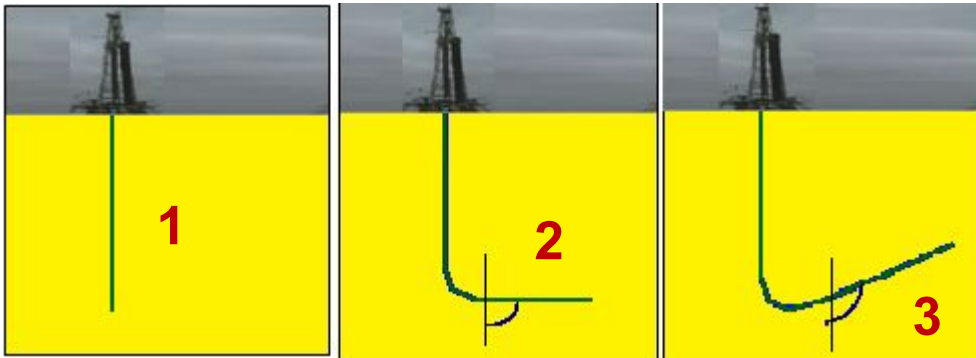
*Зенитный угол*

*по*



# Термины и определения

Величина **отхода** и **зенитного угла** ограничивается либо **техническими** возможностями используемого инструмента, либо **нормативно**.



*Вертикальная скважина*  
*Горизонтальная скважина*  
*Восстающая скважина*



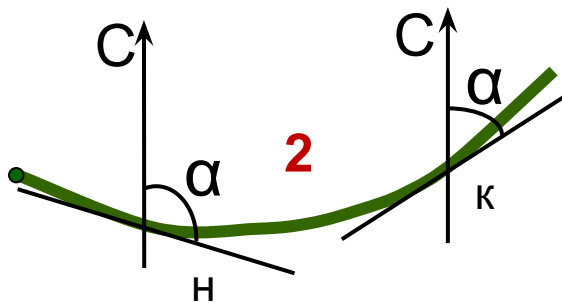
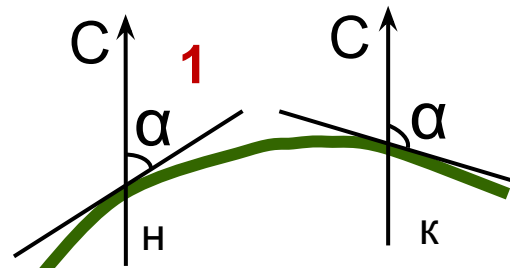
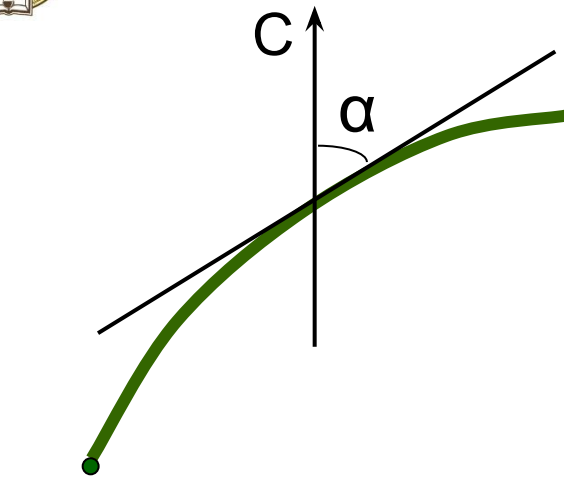
*Набор зенитного угла*  
*Падение зенитного угла*  
*Стабилизация зенитного угла*



## Термины и определения

**Азимут скважины  $\alpha$**  - угол между направлением на север и горизонтальной проекцией оси скважины, или касательной к ней, измеренный по часовой стрелке.

- **Азимут скважины** изменяется в пределах от  $0^{\circ}$  до  $360^{\circ}$ .
- **Магнитный азимут** измеряется от магнитного меридиана.
- **Истинный азимут** измеряется от географического меридиана. Угол между магнитным и географическими меридианом называется **склонением**.
- **Условный азимут** измеряется от направления, принятого условно за северное.



**Искривление вправо по азимуту?**

**Искривление влево по азимуту?**



## Термины и определения

**Интенсивность искривления-**  
темп отклонения скважины от ее  
первоначального направления по  
зенитному углу  $i_\theta$  или азимуту  $i_\alpha$ .

$$i_\theta = \frac{\theta_K - \theta_H}{l}$$

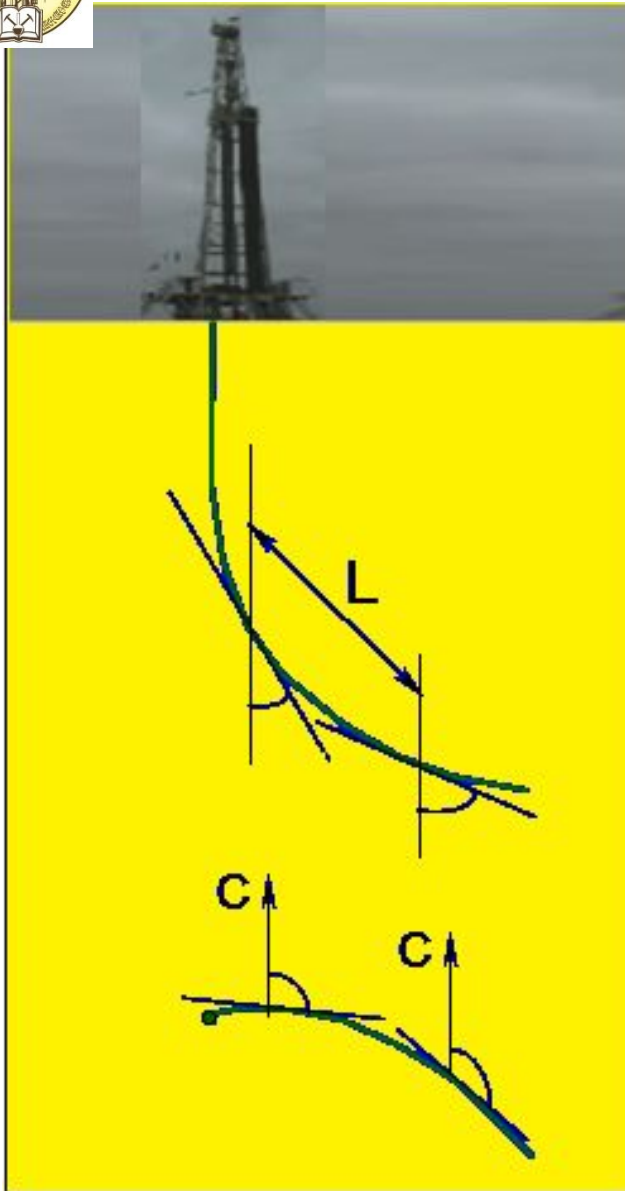
$$i_\alpha = \frac{\alpha_K - \alpha_H}{l}$$



Когда интенсивность искривления отрицательна?

Когда интенсивность искривления положительна?

Когда интенсивность искривления равна 0?



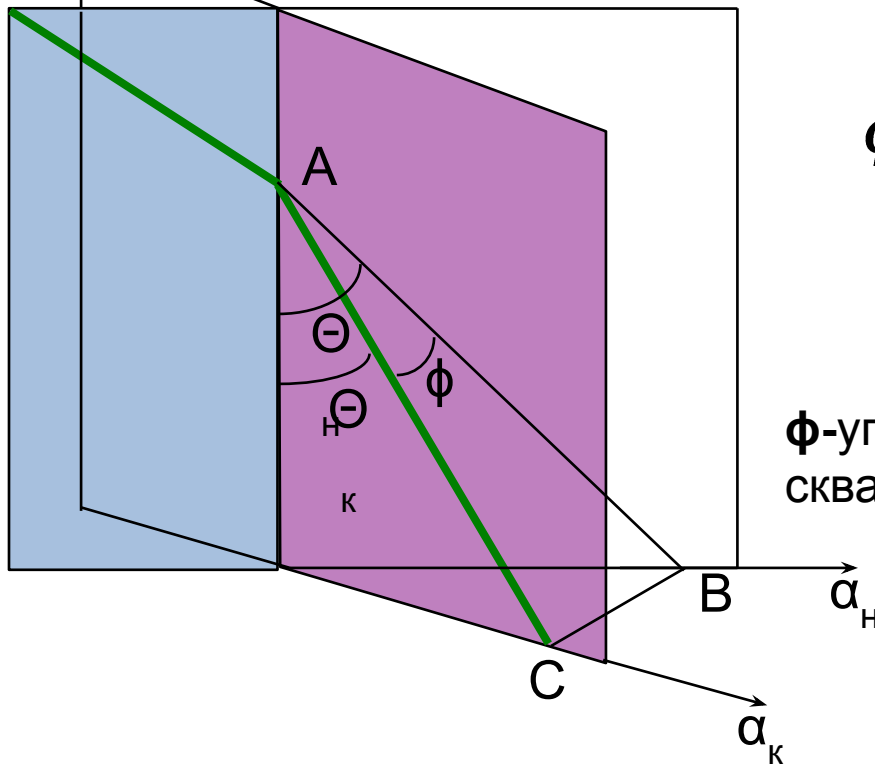


## Термины и определения

В интервале установки насосного оборудования для эксплуатации скважины интенсивность искривления должна быть **не более 3 град/100 м.**

В интервале искусственного искривления при бурении под кондуктор интенсивность искривления должна быть **не более 1,5 град/10 м.**

$$\varphi = \arccos [\cos \theta_H \cdot \cos \theta_K + \sin \theta_H \sin \theta_K \cdot \cos (\alpha_K - \alpha_H)]$$



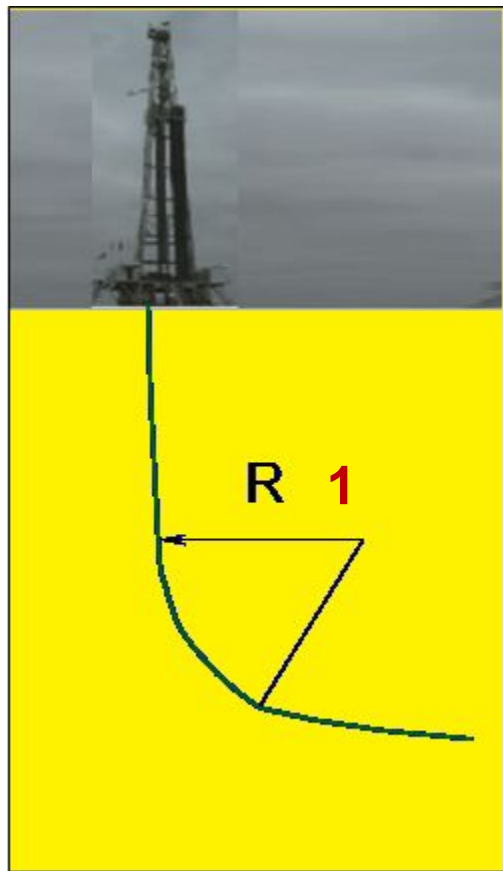
$$\varphi = \sqrt{(\theta_K - \theta_H)^2 + [(\alpha_K - \alpha_H) \sin \theta_{cp}]^2}$$

$$i_\varphi = \frac{\varphi}{l}$$

$\varphi$ -угол пространственного искривления скважины.



## Термины и определения

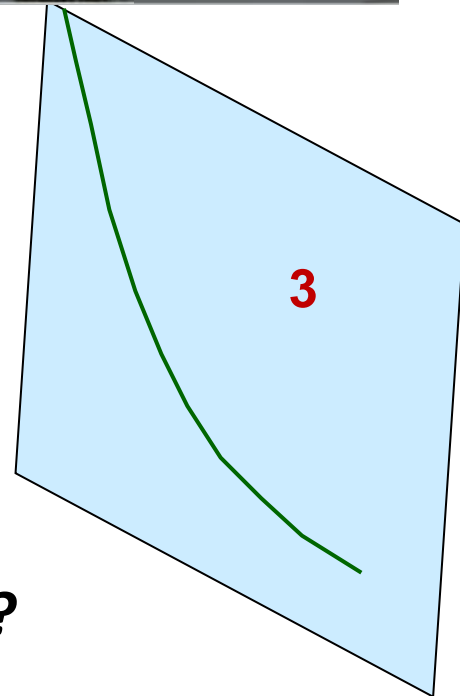
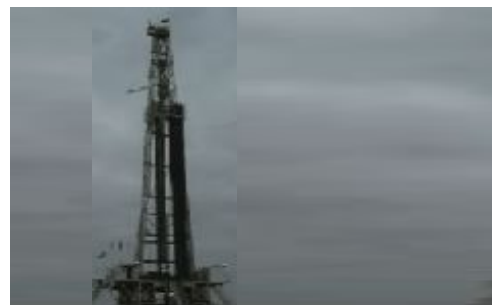


$$R = \frac{57,3}{|i|}$$

2

$$K = \frac{1}{R}$$

4



*Радиус кривизны скважины?*

*Кривизна скважины?*

*Апсидальная плоскость?*





## Тема №2

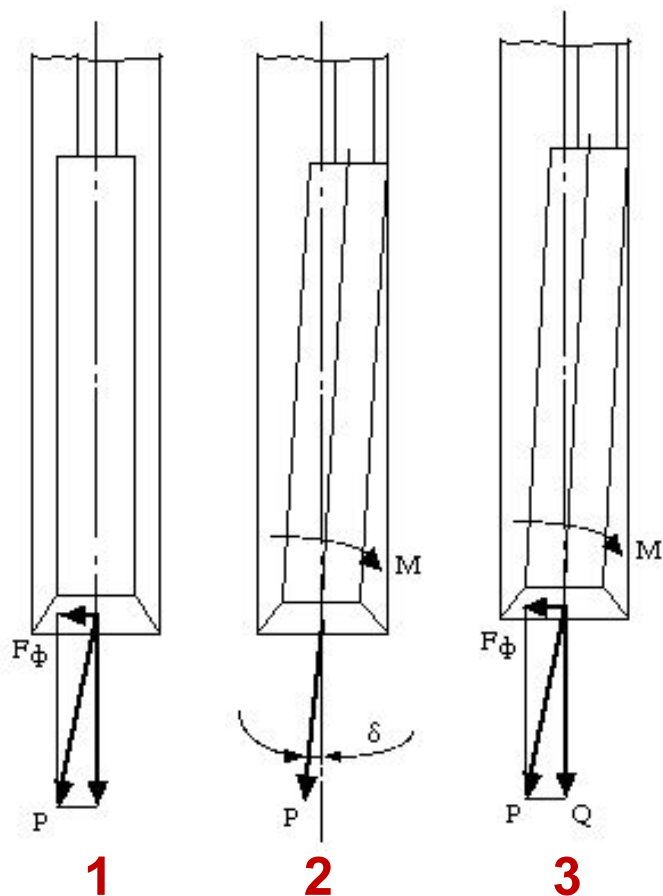
# *Причины искривления скважин.*





# Механизмы искривления скважин

**Основная причина искривления скважин** - неравномерное разрушение горной породы на забое, что происходит в результате действия различных сил и опрокидывающих моментов, действующих на породоразрушающий инструмент. Все эти силы и моменты можно привести к одной равнодействующей силе и главному моменту.



Искривления ствола за счет фрезерования стенки скважины?

Искривление за счет асимметричного разрушения породы на забое скважины?

Искривление скважин за счет одновременного фрезерования стенки и асимметричного разрушения забоя?



# Причины искривления скважин

## Причины искривления

### Технологические

### Геологически е

### Технические

Анизотропия  
горных пород

Слоистость

Сланцеватость

Переменяемость  
слоев по  
твердости

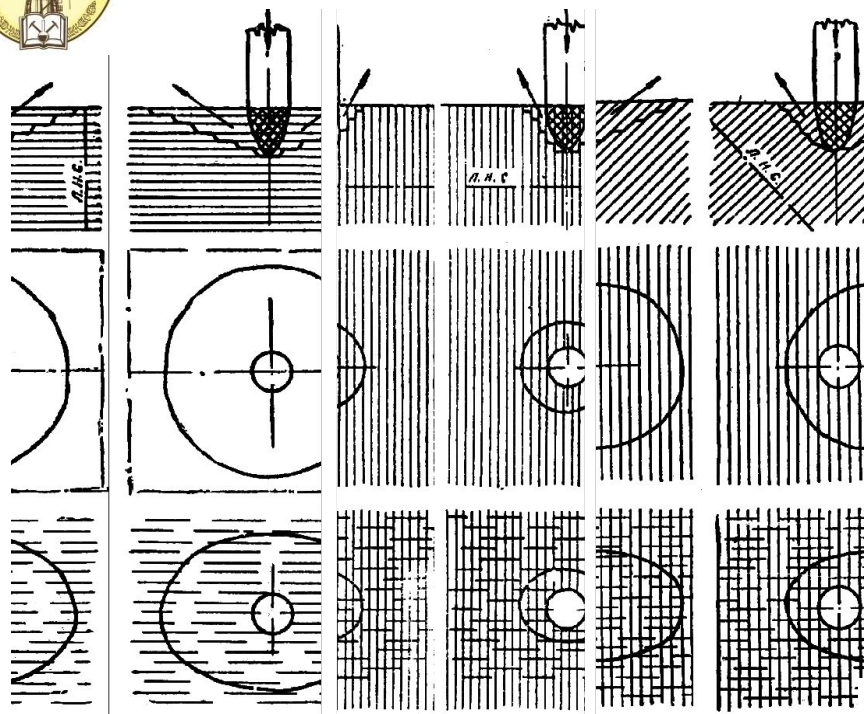
Трещиноватость

Пористость

Наличие включений



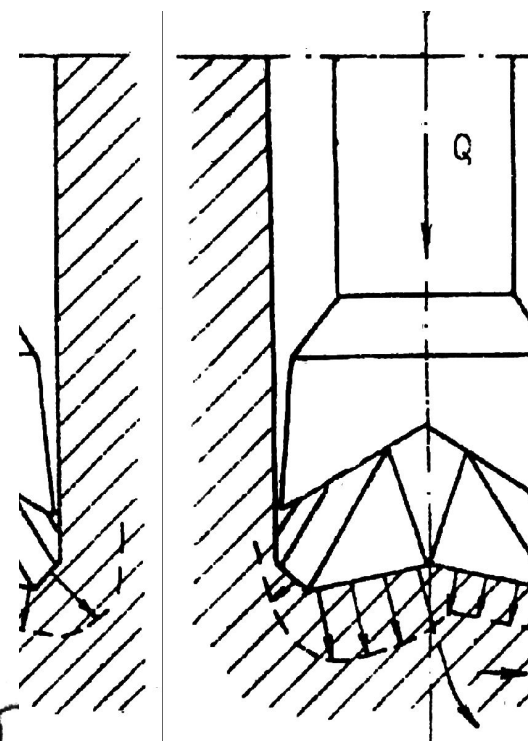
# Геологические причины искривления скважин



**Анизотропия**

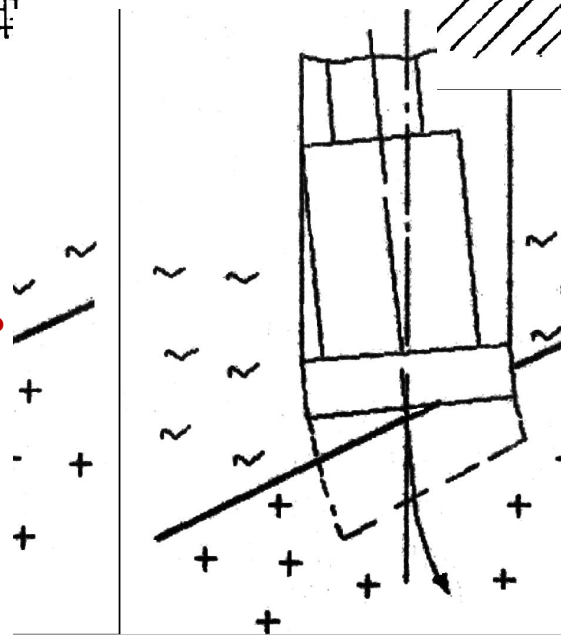
Изоотропные

Анизотропные



**Слоистость**

**Переменяемость  
по твердости**





# Причины искривления скважин

## Причины искривления

### Технологические

Геологические

Технические

Осевая нагрузка

Частота вращения инструмента

Вид бурового раствора

Качество бурового раствора

Расход бурового раствора

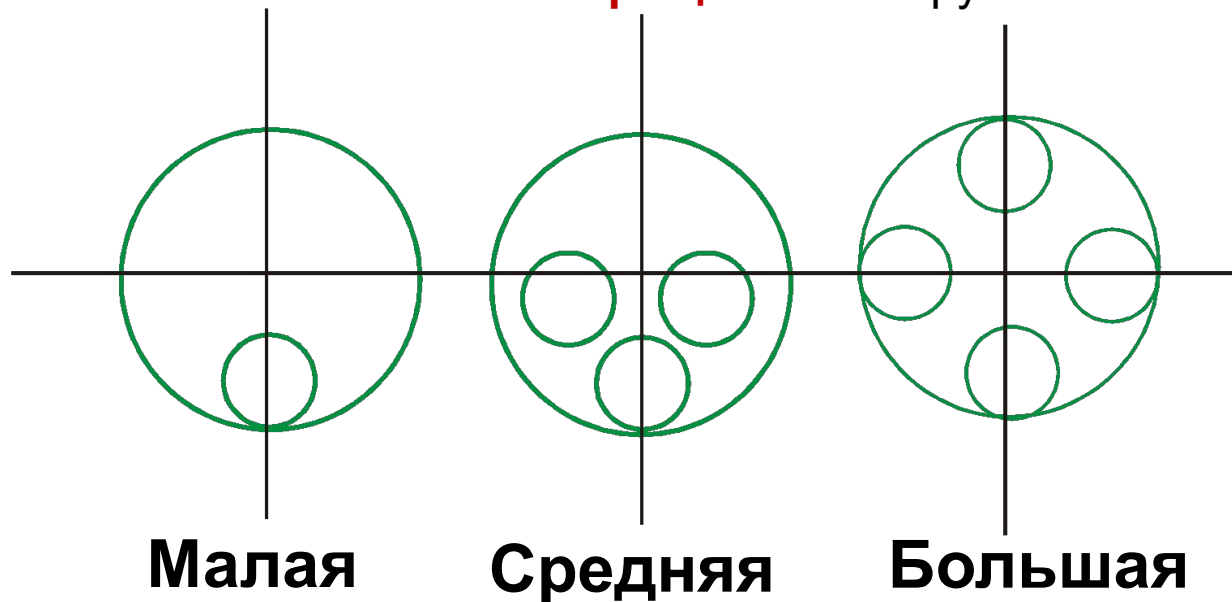


# Технологические причины искривления скважин

**увеличение осевой нагрузки** на долото приводит к **увеличению интенсивности искривления ствола**, так как

- увеличивается прогиб всех элементов КНБК;
- возрастает отклоняющая сила на породоразрушающем инструменте;
- первая точка касания КНБК со стенкой скважины приближается к забою, следовательно увеличивается перекося инструмент;
- увеличивается разработка ствола скважины.

Влияние **частоты вращения** инструмента





## Технологические причины искривления скважин

**Увеличение расхода бурового раствора** в мягких породах приводит к размыву стенок скважины, в результате увеличивается угол перекоса инструмента, а следовательно, и **ИНТЕНСИВНОСТЬ искривления.**

**Введение в буровой раствор смазывающих добавок** меняет кинематику перемещения инструмента в скважине, что приводит к **изменению интенсивности искривления.**



# Причины искривления скважин

## Причины искривления

### Технологические

### Геологически е

### Технические

#### Состав КНБК

диаметр отдельных

толщина стенки труб

длина отдельных элементов

места и количество  
установленных центраторов

количество и места  
установки калибраторов

#### Особенности породоразрушающего инструмента

форма торца

фрезерующая  
способность

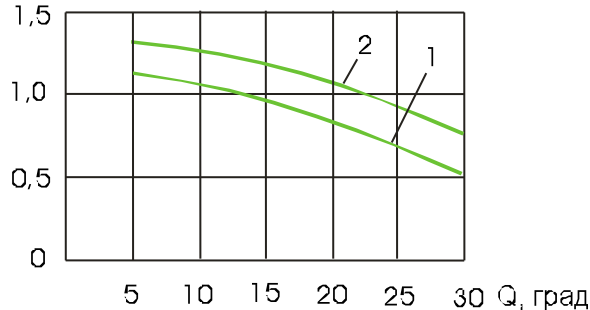
тип вооружения



# Технические причины искривления скважин

## Влияние диаметра долота на искривление скважины

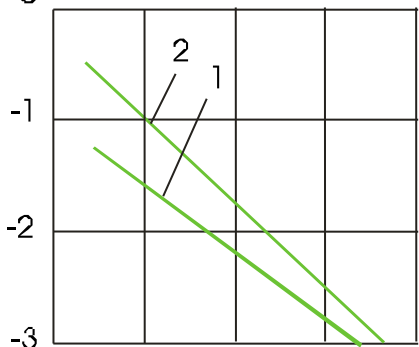
l град/100м



- 1 - долото диаметром 393,7 мм
- 2 - долото диаметром 295,3 мм

## Влияние типа долота и зенитного угла на искривление скважины

Q, град



- 1 - долото М3-ГВ
- 2 - долото С-ГН

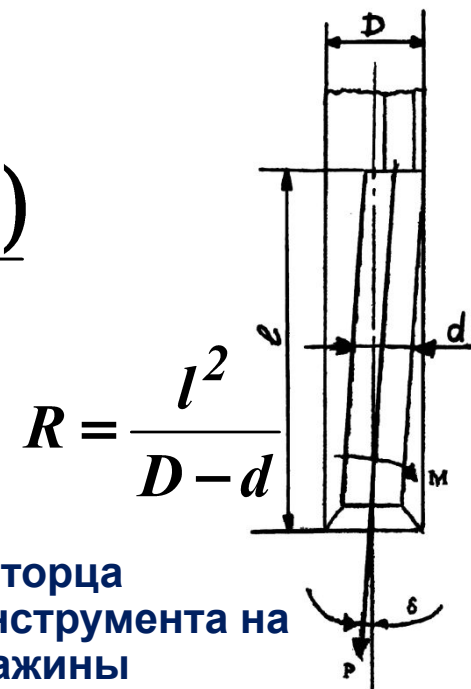
l град/100м

Зависимость интенсивности искривления от величины зенитного угла при бурении долотами  $\varnothing$  215,9 мм и турбобуром ЗТСШ-195ТЛ

## Влияние диаметра и длины забойного двигателя на искривление скважины

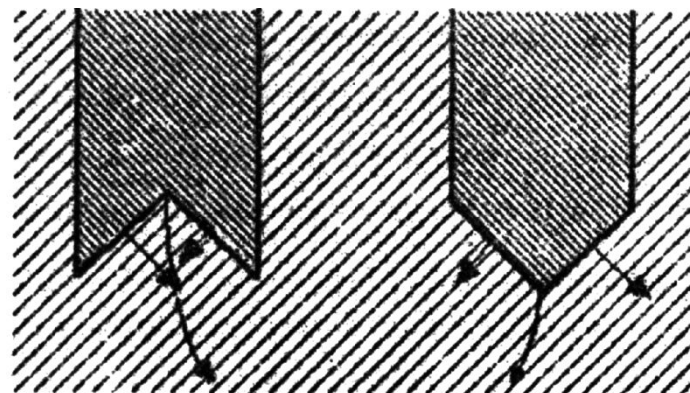
### Влияние жесткости инструмента на искривление

$$P_{кр} = \frac{0,96 \cdot 10^6 (D - d)}{l^2}$$



$$R = \frac{l^2}{D - d}$$

### Влияние формы торца породоразрушающего инструмента на искривление скважины







## **Тема №3**

# ***Закономерности искривления скважин.***



## Закономерности искривления скважин

В большинстве случаев скважины стремятся занять направление, **перпендикулярное слоистости** горных пород. По мере приближения к этому направлению интенсивность искривления снижается.

- **Уменьшение зазора** между стенками скважины и инструментом приводит к **уменьшению искривления**.
- **Место установки центрирующих элементов** и их диаметр весьма существенно влияют на направление и интенсивность зенитного искривления.
- **Увеличение жесткости** инструмента **уменьшает искривление** скважины, поэтому скважины большого диаметра искривляются менее интенсивно, чем скважины малого диаметра.
- **Увеличение осевой нагрузки** приводит к **увеличению интенсивности** искривления, а повышение частоты вращения колонны бурильных труб - к снижению искривления.



## Вопросы для самопроверки

Отрицательные последствия искривления скважин.

2. Что такое профиль скважины?
3. Что такое план скважины?
4. Что такое длина скважины?
5. Что такое глубина скважины по вертикали?
6. Что такое отход скважины?
7. Что такое зенитный угол скважины?
8. Что такое азимутальный угол скважины?
9. В каких пределах изменяется зенитный угол скважины?
10. В каких пределах изменяется азимутальный угол скважины?
11. В каких пределах изменяется пространственный угол скважины?
12. Что такое апсидальная плоскость?
13. Что такое вертикальная скважина?
14. Что такое горизонтальная скважина?
15. Что такое восстающая скважина?
16. Что такое интервал набора зенитного угла?
17. Что такое интервал падения зенитного угла?
18. Что такое интервал стабилизации зенитного угла?
19. Что входит в понятие параметры кривизны скважины?
20. Что значит «искривления вправо по азимуту»?
21. Что значит «искривление влево по азимуту»?
22. Что такое интенсивность искривления?
23. В каких единицах измеряется интенсивность искривления?
24. В каком случае интенсивность искривления равна 0?
25. В каком случае интенсивность искривления больше 0?



## Вопросы для самопроверки

26. В каком случае интенсивность искривления меньше 0?
27. Что такое радиус кривизны скважины?
28. Что такое кривизна скважины?
29. В каких единицах измеряется кривизна скважины?
30. Что является основной причиной искривления скважин?
31. В каком случае возникает равнодействующая сила?
32. В каком случае возникает опрокидывающий момент?
33. Что относится к геологическим причинам искривления?
34. Что относится к технологическим причинам искривления?
35. Что относится к техническим причинам искривления?
36. Как влияет слоистость горных пород на искривление скважины?
37. В каком направлении будет искривляться скважина при переходе из твердых в мягкие горные породы?
38. В каком направлении будет искривляться скважина при переходе из мягких в твердые горные породы?
39. В каком направлении будет искривляться скважина при встрече крутопадающего пласта твердых пород?
40. Как влияет частота вращения инструмента на интенсивность искривления?
41. Как влияет осевая нагрузка на инструмент на интенсивность искривления?
42. Как влияет расход бурового раствора на интенсивность искривления?
43. Как влияет жесткость КНБК на интенсивность искривления?
44. Как влияет диаметр элементов КНБК на интенсивность искривления?
45. Как влияет количество центраторов в КНБК на интенсивность искривления?
46. Как влияет форма торца инструмента на интенсивность искривления?

**Спасибо за внимание!!!**