

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Горные работы»

**Бабец М.А.**

## **Б У Р О В Ы Е Р А Б О Т Ы**

Курс лекций для студентов горных специальностей

Электронный учебный материал

Минск 2015

УДК 622.24(075.8)  
ББК 33.13я7  
М33

**Авторы:** Бабец М.А.

**Рецензент:**

В.П. Ильин, консультант отдела геотехнологий Государственного предприятия «Научно-производственный центр по геологии» Минприроды РБ, кандидат технических наук

Учебный материал содержит двенадцать лекций, в которых рассмотрены основные направления производства буровых работ, базовые понятия и определения, комплекс вопросов, связанных с сооружением буровых скважин различного целевого назначения. Учебное пособие может быть использовано для самостоятельной работы и дальнейшего углубления знаний в области бурения студентов горных специальностей как дневного, так и заочного отделений высших учебных заведений.

Белорусский национальный технический университет  
пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь  
Тел.(017) 293-92-34 факс (017) 292-77-84  
E-mail: emd @bntu.by  
Регистрационный № **БНТУ**/ФГДЭ58-4.2015

© БНТУ, 2015  
© Бабец М.А., 2015  
© Траско Е.Я., компьютерный дизайн, 2015

## Содержание

	Стр.
Введение.....	4
Лекция 1. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	6
Лекция 2. СИСТЕМА СТАДИЙНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕДР И МЕСТО ГОРНЫХ ИНЖЕНЕРОВ РАЗНОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ В НЕЙ.....	11
Лекция 3. КЛАССИФИКАЦИЯ СКВАЖИН ПО ЦЕЛЕВОМУ НАЗНАЧЕНИЮ.....	14
Лекция 4. СПОСОБЫ БУРЕНИЯ СКВАЖИН .....	17
Лекция 5. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПРОЦЕСС БУРЕНИЯ СКВАЖИНЫ.....	21
Лекция 6. ВИДЫ (СПОСОБЫ) РАЗРУШЕНИЯ ГОРНОЙ ПОРОДЫ ПРИ ВРАЩАТЕЛЬНОМ МЕХАНИЧЕСКОМ БУРЕНИИ И ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ.....	26
Лекция 7. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН.....	29
Лекция 8. «ГЕНЕАЛОГИЯ» БУРЕНИЯ.....	33
Лекция 9. ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ СКВАЖИН.....	46
Лекция 10. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И БУРОВЫЕ РАБОТЫ .....	52
Лекция 11 ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ СКВАЖИН И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ БУРЕНИЯ.....	56
Лекция 12. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА БУРЕНИЯ СКВАЖИНЫ.....	60

## Введение

Компановка курса «Буровые работы» предусматривает получение студентом минимально необходимого объема знаний по предмету путем прочтения или, что предпочтительнее, прослушивания представленного в настоящем пособии курса лекций (12 лекций). Задача лекций - не вдаваясь в частности дать общие знания, которые помогут Вам ориентироваться в области задач, решаемых бурением, в терминологии и в применяемых технических средствах, а также узнать о смежных, неразрывно связанных с бурением дисциплинах, о решаемых при этом проектных, экономических и юридических вопросах. Кроме электронного лекционного курса расширенный курс «Буровые работы» предусматривает ознакомление с имеющимися на кафедре «Горные работы» материалами в объеме двух дисков примерно по 700 МБ каждый. Ознакомление с ними предпочтительнее под руководством преподавателя на практических занятиях. Преподаватель подскажет, что Вам важнее посмотреть в зависимости от Вашей «профориентации», которая, в первом приближении, выглядит так: «подземщики», «открытчики», «буровики», «маркшейдера». В последующем Вы углубляетесь в ту часть «предмета», которая Вас интересует в качестве вашей будущей специализации в области бурения. Такая специализация может иметь место для всех перечисленных специальностей, включая маркшейдеров, поскольку, например, направленное бурение – это не только точные координаты устья скважины, но и траектории ее ствола. В разделах-папках представлены:

- «документы» - приведены нормативные правовые документы, в той или иной мере регламентирующие выполнение буровых работ на территории РБ, в основном ТКП – технические кодексы установившейся практики, предполагается, что до ознакомления с ними будущие горные инженеры уже имеют некоторое представление о базовых государственных правовых актах - Кодексах (о недрах, земельном, водном);

- «учебники» - даны учебные материалы на уровне «грамотный или квалифицированный рабочий» по бурению на ОГР, ПГР, работах на нефть и газ и др.;

- «ГТН» - образцы выполнения проектных документов, прежде всего геолого-технических нарядов на сооружение скважин различного целевого назначения;

- «оборудование» - фото-, кино- и др. материалы, дающие представление о технических средствах бурения по основным направлениям видов буровых работ, подпапка «РБ фото вживую» - это то оборудование, которое заснято в работе на территории нашей страны и с которым встретиться шанс вполне реален (ряд снимков сделан при проведении практических занятий «на местности»);

- «классика» - снимки из старых учебников того, с чего начиналось бурение, в то же время может быть реализовано Вами в экстремальных условиях из подручных или изготовленных и собранных «в гараже» деталей и узлов.

На отдельном диске (из названных двух) представлены «рефераты» - зачетные работы студентов по темам, выданным преподавателем, либо выбранным самостоятельно, исходя из уже сформировавшегося в процессе изучения курса профессионального интереса. Здесь и текстовые рефераты, и видеоматериалы, в том числе и «скачанные» из интернета.

Представлены лучшие, являющиеся вполне учебными и расширяющими кругозор. Ознакомление с ними, в то же время, уменьшит количество дискуссий на тему «кто автор реферата», когда один и тот же реферат, написанный в иные годы и в иной стране, приносят одновременно несколько самых «умных» студентов. Тем не менее, работа над рефератами позволяет ежегодно «в режиме реального времени» отслеживать новое в этом разделе горного дела и смежных с ним, обновлять и дополнять учебные материалы во всех перечисленных выше папках. Так, Вы будете в курсе последних редакций ТКП, новинок бурового оборудования, технологий добычи сланцевого газа, достижений в области бурения в Антарктиде, под водой и на астероидах и т.д. и т.п., но уже самостоятельно. Преподаватель на этой «территории» уже консультант и на практические занятия и лекции будет выносить, прежде всего, те вопросы, которые могут возникнуть при вашей работе по Вашей профессии. Кроме того, на кафедре горных работ по курсу имеется фильмотека учебных, научно-популярных и художественных фильмов, в которых раскрываются различные аспекты производства буровых работ - смотрите, думайте, спрашивайте. Не получите точного ответа? Ищите сами и идите дальше и глубже, в профессию.

## Лекция 1

### ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Бурением** называют способ проходки горных выработок, преимущественно скважин и шахтных стволов. Характерной особенностью этого способа является проходка выработок без нахождения в них человека.

**Буровая скважина** - цилиндрическая горная выработка, проводимая техническими средствами в горных породах или техногенной твердой среде (бетон, камень) без присутствия в ней человека, имеющая большое соотношение ее длины к ее диаметру.

Диаметр скважины может составлять от 25 мм до 1 м и более в зависимости от ее целевого назначения. Шахтные стволы бурят диаметрами до 5-8 м. Глубина скважин - от нескольких метров до 11600 м (Кольская сверхглубокая). Технически возможно достижение еще больших глубин по мере развития буровых технологий и технических средств. В скважины отсутствует доступ человека и после завершения их сооружения все работы в скважинах проводятся дистанционно. Сама скважина (скв.) - это основное средство дистанционного получения прямой геолого-геофизической и технологической информации о горных породах и содержащихся в них полезных ископаемых а, в ряде случаев (вода, нефть, газ, каменная соль и др.), и основное средство их добычи. Шахтные стволы, шурфы и другие горные выработки большого поперечного сечения, сооружаемые бурением, в дальнейшем оборудуются средствами жизнеобеспечения для выполнения горнодобычных работ.

Различают следующие элементы скважины (рис. 1):

**устье скв.** 1 - место пересечения контура скв. с поверхностью, откуда началось ее бурение;

**ось скв.** 3 - воображаемая линия, проходящая через условные центры поперечных сечений скв. и представляющая собой пространственную кривую - траекторию скв.;

**стенки скв.** 4 - боковые поверхности скв. по отношению к ее оси;

**забой** 5 - поверхность, по которой происходит разрушение горной породы при проходке скв.;

**ствол скв.** - выработанное пространство в массиве горных пород, ограниченное контурами скв., т. е. ее устьем, стенками и забоем (соответственно говорят - «ось ствола скв.», «траектория ствола скв.»);

**обсадная колонна** 2 - колонна труб, спущенных в скв. для сохранения целостности (крепления) ее ствола;

**необсаженный интервал** ствола скв. 6 (открытый ствол) - интервал вдоль оси скв., где нет обсадной колонны (обсадки);

**обсаженный интервал** 7 (обсаженная часть скв.) - интервал ствола скв., закрепленный обсадной колонной;

**глубина скв.** - расстояние от устья до забоя по вертикали, отсчет глубины ведут от принятой нулевой отметки на устье (например, от стола ротора буровой установки в процессе бурения, от реперной отметки - «марки» на

устьевой, выступающей из скв., части обсадной колонны, после крепления ствола скв. и др.);

**протяженность ствола скв.** - расстояние от устья до забоя по траектории ствола скв. (используют термин «глубина скв. по стволу»);

Проходка ствола скв. включает два основных технологических процесса:

- разрушение горной породы на забое;

- удаление обломков горной породы с забоя и из скв.

Масса частиц горной породы, образующихся при разрушении забоя (стенок) скв. называется **шламом**.

Состав работ по проходке ствола определяется способом бурения.

**Способ бурения** - разновидность технологического комплекса работ по проходке ствола скв., характеризующаяся спецификой процесса разрушения горной породы, подвода энергии к забоя для его разрушения и удаления шлама из скважины.

**Буримость** горной породы - это ее свойство сопротивляться разрушению при бурении. Интенсивность же разрушения горной породы сильно зависит от способа бурения. Поэтому показатели и шкалы «буримости» устанавливают разные для разных способов бурения. Кроме разрушения и удаления горной породы из скв. (проходки ствола) важным технологическим процессом бурения является крепление стенок (ствола) скв. Крепление может осуществляться обсадными трубами с последующей изоляцией (цементированием) кольцевого пространства между обсадной колонной и стенками скв., либо без цементирования для возможности дальнейшего извлечения обсадных труб (временное крепление). Существуют способы закрепления стенок скв. без обсадных труб. Процесс проходки ствола и его крепления выполняются отдельно, либо в зависимости от геолого-технических условий и применяемого способа бурения, могут совмещаться во времени. Когда подразумевают все три названных выше технологических процесса, говорят уже о «проходке скважины». Соответственно, говорят о «скорости проходки ствола скв.», «скорости проходки скв.». Когда акцент ставится на скорость продвижения забоя, как показатель процесса бурения и эффективности разрушения забоя, то говорят о «скорости углубки забоя» и о «механической скорости бурения». Термин «проводка ствола скв.» и «проводка скв.» используют, когда надо подчеркнуть, что ствол скважины бурится по заранее спроектированной траектории. Скв. бурят под любым углом к горизонту: вертикально, горизонтально, наклонно (вниз или вверх, по сложной траектории), одним, двумя и более стволами (многозабойное бурение). При наличии общего (одного) устья скв., но двух и более стволов, которые наиболее часто проходятся из основного (подходного) ствола - скв. называют многозабойной (рис. 2,а). Если бурение осуществляют с ограниченной по размерам площадки (например, с буровой платформы на акватории) и устья скважин размещают рядом - такое бурение называют кустовым (рис. 2,б). В результате его получается «куст скважин», у которых устья расположены близко, а забои наклонно-направленных стволов разнесены на сотни и тысячи метров. При бурении сплошным забоем разрушается порода по всей площади забоя, при бурении с

отбором керна породу разрушают по кольцевому забою у стенок скважины, а внутренний столбик породы (кern) извлекают на поверхность для изучения. При бурении на твердые полезные ископаемые, когда kern является основным источником информации и отбирается по всему стволу скважины или на больших интервалах ствола бурение называют «колонковым». С ростом глубин скважин возрастают мощность и габариты оборудования, необходимые для сооружения скважины. Термины «сооружение» и «строительство» скважин используют, когда бурение скважины является только одной, пусть и очень важной составляющей, строительства скважины - инженерного сооружения, предназначенного для последующей эксплуатации на протяжении ряда, а иногда, десятков лет. Полный цикл сооружения скважины, например, на нефть и газ состоит из следующих технологических процессов:

1. Планирование буровой площадки, обустройство подъездных путей.
2. Монтаж вышки, бурового и силового оборудования, строительство привышечных сооружений.
3. Подготовительные работы к бурению (пуско-наладочные, вспомогательные, включая водоснабжение, системы очистки и утилизации отходов и т. д.).
4. Бурение (проходка, проводка) скважины.
5. Вскрытие полезного ископаемого, при бурении на воду, нефть и газ - вскрытие и разобщение пластов (крепление и цементирование).
6. Опробование полезного ископаемого, испытание скважины (объекта) на приток нефти, газа или воды. Освоение перспективного объекта (объектов в скважине).
7. По результатам испытаний и освоения:
  - подготовительные работы к передаче в эксплуатацию, или
  - ликвидационные работы (ликвидационный тампонаж скважины), или
  - консервация скважины.
8. Демонтаж оборудования и вышки, рекультивация территории.

Процесс бурения, кроме проходки ствола (проходки скважины), включает спуско-подъемные работы (операции) - СПО. Операции СПО – это, прежде всего, спуск бурильных труб с породоразрушающим инструментом (долотом, бурильной головкой и др.) по стволу скв. до забоя и подъем их на поверхность после того, как долото выработает свой ресурс (будет отработано). Время СПО и их трудоемкость возрастают пропорционально глубине скважины. Количество СПО обратно пропорционально стойкости долота - чем она выше, тем меньше операций по его замене в процессе проходки скважины необходимо. Одновременно в процессе бурения выполняют:

- а) отбор керна и шлама;
- б) приготовление и регулирование параметров бурового промывочного агента (буровой промывочной жидкости - БПЖ);
- в) геофизические исследования скважины - ГИС (каротаж);
- г) исследования скв. с целью обнаружения полезного ископаемого (п.и.), вызова притока воды, нефти, газа в ствол скважины (опробование);



д) при осложнениях и в случае аварий (прихват инструмента, обрыв бурильных труб и т. д.) возникает необходимость в дополнительных профилактических и (или) аварийных работах.

При глубинах скв. первые десятки и сотни метров полный цикл сооружения скважины существенно упрощается за счет применения более легкого и мобильного оборудования, снижения материало- и трудоемкости основных и вспомогательных операций.

Бурение скв. применяется для решения комплекса задач, связанных с изучением и использованием геологической среды как в инженерных, так и научно-исследовательских целях, начиная от отбора проб грунтов перед строительством любого современного здания и кончая бурением глубоких и сверхглубоких скв., скв. с поверхности и со дна акваторий, в Антарктиде, на Луне и других космических объектах.

Наибольшие объемы бурения приходятся на горную и нефтегазовую промышленность, где оно применяется, начиная от поисков и разведки месторождений п. и. и, далее, в процессе строительства и эксплуатации горнодобывающих предприятий и промыслов. Бурение дешевле и осуществляется быстрее, чем сооружение других типов горных выработок, являющихся наиболее затратным, трудоемким и опасным видом работ, как в геологоразведке, так и при разработке п.и. подземным способом. Скв. являются одним из неотъемлемых компонентов полевых (площадных) геофизических работ, в первую очередь - сейсморазведки, а ГИС - обязательный компонент, сопровождающий весь процесс проходки и, особенно, проводки скв. Горные выработки с человеком в забое появляются только после того, когда выбран весь исследовательский и добычный потенциал дистанционных методов - бурения в сочетании с геофизикой, а на глубинах более трех километров, куда с трудом «дотягиваются» единичные шахтные стволы, скважины пока единственное средство проникнуть в то, что у нас под ногами - в геокосмос. Если вам попадется в литературе определение «бурение - это процесс, в результате которого в земной коре создается скважина» (оно мною оставлено в методическом пособии по работе на буровом тренажере АМТ-221), то имейте в виду, что литосфера под Минском оценивается в толщину порядка 80-ти км. И если ее «проткнуть» на 10 км, потратив на это 5-10 лет, при современном уровне техники, то говорить о том, что скв. - это не укол поверхности литосферы, а сооружение в ней (в земной коре), наверно преждевременно. Просто, когда бурилась Кольская сверхглубокая, мы мечтали и пели, что «на Марсе будут яблони цвести» и на «пыльных тропинках далеких планет останутся наши следы».

Наши выпускники, братья Богачи - Виталий и Василий, оставили свой след - забой 1-ой Предречицкой нефтеразведочной на отметке 6200 м. На территории Беларуси это самая глубокая. У них и у вас все впереди. И если забой достигнет 12-ти, а потом 15-ти, если башмак обсадной колонны встанет на проектной отметке 10 км и больше, то этот след в геокосмосе будет свидетельствовать об интеллектуальном, техническом и технологическом уровне не меньшем, чем достижение Марса и доставка туда саженцев яблонь.

Но здесь возникает вопрос: как и зачем? Как изучают геокосмос - недра? И зачем вообще-то нам туда, в глубину, в земную кору? В лекции 2 Вы познакомитесь с системой геологического изучения недр и месте в этой системе горных инженеров разной специализации.

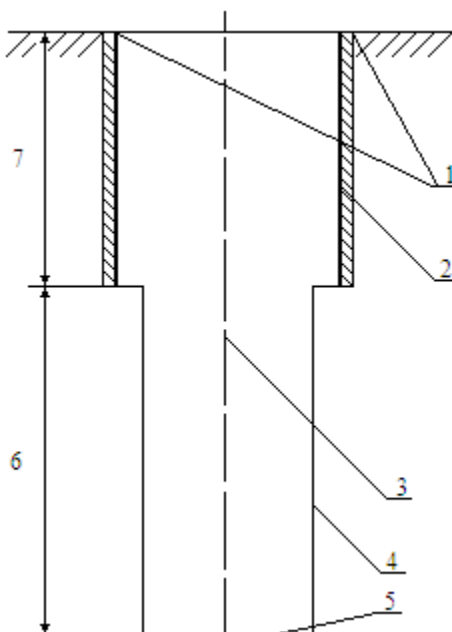


Рис. 1. Элементы скважины:

- 1 – устье скважины; 2 – обсадная колонна; 3 – ось скважины; 4 – боковые поверхности скважины; 5 – забой скважины; 6 – необсаженный интервал ствола скважины; 7 – обсаженный интервал ствола скважины

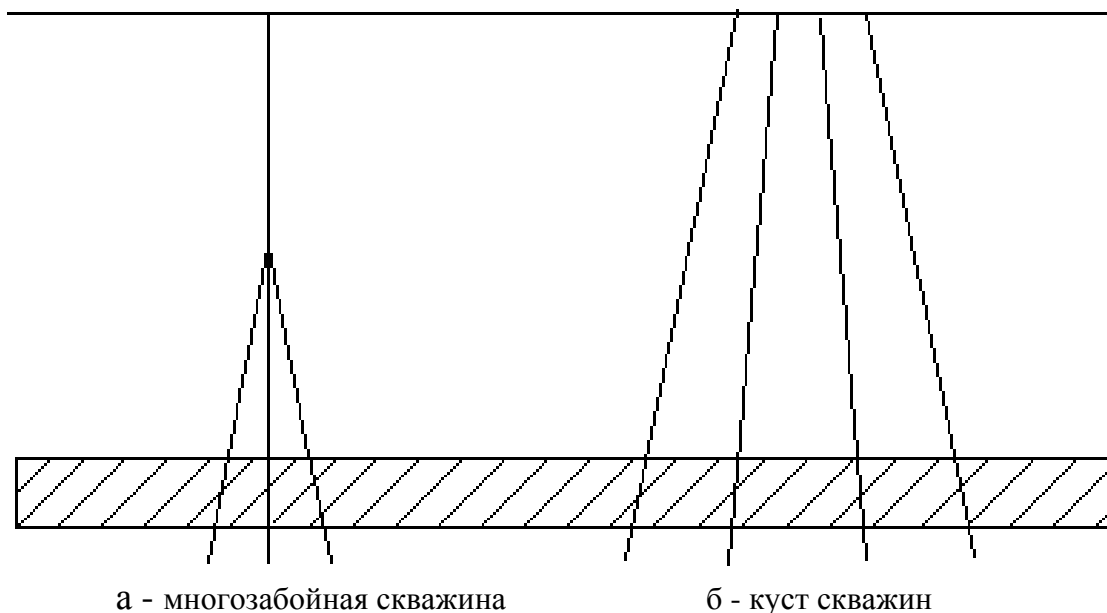


Рис. 2. Виды скважин

**Лекция 2**  
**СИСТЕМА СТАДИЙНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ**  
**НЕДР И МЕСТО ГОРНЫХ ИНЖЕНЕРОВ РАЗНОЙ СПЕЦИАЛИЗА-**  
**ЦИИ В НЕЙ**

Таблица 1

Этапы	Стадии	Подстадии	Запасы
I. Геологическая съемка территории	1. Региональное геологическое изучение	Региональные геолого-геофизические исследования. Опорное и параметрическое бурение. Геол. Картирование. М 1:1 млн., 1:0,5 млн.	P <sub>3</sub>  P <sub>2</sub>
	2. Геолого-съемочные работы с общими поисками	Региональные геол. съемочные раб. М 1:200000, 1:100000. Параметрическое бурение. Общие поиски М 1:50000, 1:25000. Картировочное и зондировочное бурение	
II. Поиски	3. Поисковые работы 4. Поисково-оценочные работы	Структурное бурение. Поисковое бурение. Горные выработки.	P <sub>1</sub> ( P <sub>2</sub> ) C <sub>2</sub> ( P <sub>1</sub> )
III. Разведка	5. Предварительная 6. Детальная	Разведочное бурение. Разведочные горные выработки. Неосвоенного месторождения. Разрабатываемого месторождения. Разведочно-эксплуатационное бурение и горные выработки.	C <sub>1</sub> ( C <sub>2</sub> ) B ( A )  A
	7. Доразведка		
IV. Разработка	8. Эксплуатационная разведка. Геологическое обеспечение горно-эксплуатационных работ	-----	

В табл. 1 приведена общая последовательность – стратегия проведения работ по изучению геологической среды, от общего к частному, от масштабных площадных исследований больших территорий сверху, методами, включающими аэрокосмические, до детального изучения выявленных геологических объектов «изнутри», т.е. непосредственно в недрах. Это государственная стратегия, сложившаяся в СССР. Нам остались результаты ее реализации: геологические карты и документация, развитая горная индустрия, обеспеченная запасами минерального сырья, специалисты – геологи и горняки, бойцы этого не всем видимого фронта, которых, к сожалению, становится все меньше. Ваша задача – пополнять поредевший строй и знать, на каком участке этой «битвы» за информацию и минеральное сырье и на какой ее стадии будет востребована ваша горная профессия. В столбце «подстадии» табл. 1 это можно увидеть:

На стадиях 1, 2, 3 - геологи, геофизики, топографы и топогеодезисты, буровики. Стадии от 4 до 8 - буровики, геологи, геофизики, горняки (открыт-

чики и подземщики со специализацией по горноразведочным выработкам), топогеодезисты - маркшейдера. По мере развития горных производств на первое место выходят горняки-эксплуатационники, остальные «работают на них». Если результаты изучения недр завершаются нефтегазопромыслом, то «банкуют» буровики-эксплуатационники и нефтяники-геологи («разработчики»), им усиленно помогают геофизики - промысловики (каротажники), остальные - ассистируют (табл. 2). Безусловно, мы здесь говорим о профессиях, по которым готовят или с которыми знакомят вас. Ни слова о строителях, энергетиках, транспортниках (включая летчиков и моряков) и т.д. и т.п., количество которых будет напрямую зависеть от масштабов горного предприятия или промысла и точки на карте, где он будет обустроиваться.

## СТАДИЙНОСТЬ РАБОТ НА НЕФТЬ И ГАЗ

Таблица 2

Этапы	Стадии	Бурение
I. Региональный	1. Прогнозная 2. Оценка перспектив региона	Опорное и параметрическое
II. Поисковый	3. Предварительные поиски 4. Детальные поиски	Структурное Поисковое
III. Разведочный	5. Предварительная разведка 6. Детальная 7. Эксплуатационная. Опытно-промышленная эксплуатация	Разведочное Разведочно-эксплуатационное
IV. Разработка	Разработка (эксплуатация)	Эксплуатационное

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КЛАССИФИКАЦИЙ ЗАПАСОВ (НЕФТИ), ДЕЙСТВУЮЩИХ В СНГ И В США

Таблица 3

СНГ	Американский нефтяной институт
Разведанные запасы $A + B + C_1$	Доказанные Разрабатываемые Разбуренные, не разбуренные Не разрабатываемые
$C_2$ – предварительно оцененные запасы	Вероятные
$C_3$ – перспективные ресурсы	Возможные
Прогнозные ресурсы $D_1 + D_2$	Умозрительные
Потенциальные ресурсы $A + B + C_1 + C_2 + D_1 + D_2 + \text{добыча}$	----

**Примечание:** категории запасов обозначаются латинскими буквами – A, B, C, D, P.

В связи с капитализацией хозяйственной деятельности на территории Республики Беларусь, в том числе и в сфере эксплуатации недр, возможно их изучение субъектами негосударственных форм собственности по «системе», отличающейся от «унаследованной» от СССР (табл. 3). В любом случае, как

изучение, так и эксплуатация недр должны осуществляться без вступления в противоречие с базовыми государственными документами: Кодексом о недрах РБ, Земельным и Водным кодексами. И в соответствии с действующими в РБ нормативными документами - техническими кодексами установившейся практики (ТКП) в области изучения и эксплуатации недр. Горный инженер любой специализации, приступая к практическим действиям и руководствуясь последними редакциями названных документов, должен четко представлять правовое (законодательно и юридически) предоставляемое ему поле деятельности, как физическому лицу, и организации, которую он представляет, как юридическому лицу, деятельности без нарушения границ этого «поля» в недрах и на поверхности земли. Проектировать и, затем, сооружать и эксплуатировать горные выработки, в том числе и скважины, в соответствии с установившейся, т.е. оправдавшей себя физически, технически, экологически и юридически, практикой. А затем, по мере приобретения опыта, и участвовать в разработке «подзаконных» нормативных документов в этой области - таких как отраслевые стандарты, стандарты предприятий, технические условия и регламенты на отдельные виды работ и применяемые технические средства.

#### **Литература:**

1. Нестеров И.И., Васильев В.Б. и др. «Теория и практика разведки месторождений нефти и газа» М. Недра, 1985- 215 с. С.10- 29.
2. Захария И.Р., Бабец М.А. «Основы разведочного бурения». Курс лекций Мн. БГУ, 2003- 192с. с.18- 21.
4. Козловский Е.А. Глубинное исследование недр Земли. Изд. второе. М.:ООО «Центр информационных технологий и природопользования», 2008 – 205с.
5. Поликарпова Н.Н. «Основы геологии и разведки месторождений полезных ископаемых». Учебный курс. БНТУ.
6. Козловский Е.А. Избранное-2 . Минерально-сырьевые ресурсы России (анализ, прогноз, политика). М.: ООО «Центр информационных технологий в природопользовании», 2009. – 580с.

### Лекция 3

## КЛАССИФИКАЦИЯ СКВАЖИН ПО ЦЕЛЕВОМУ НАЗНАЧЕНИЮ

Целевое назначение скважины (схема 1) определяет ее конструкцию и оптимальный способ ее бурения. Целевое назначение скважины указывается на титульной странице проектной документации на ее сооружение. При небольших проектных глубинах и типовых простых конструкциях скважин проектный документ составляется на группу (сетку) скважин. В нем указываются параметры (как правило, топогеодезические) взаимного расположения скважин. При глубинах более десяти метров и наличии в конструкции скважины обсадных колонн она бурится по индивидуальному или типовому проекту, адаптированному к проектному геологическому разрезу. Образно говоря, устье скважины – это пункт отправления, а траектория ствола и забой – это путь и конечная точка маршрута, которые и являются задачей проходки ствола. А вот целевое назначение скважины – это геологическая, эксплуатационная, или инженерная задача, которые определяют как долго этот маршрут будет использоваться и насколько надежно он должен быть обустроен.

Квинтэссенция проекта на бурение скважины кратко излагается в ГТН – **геолого-техническом наряде на бурение (сооружение) скважины**. ГТН – это графический и текстовый документ на одном листе, который используется буровой бригадой непосредственно на точке бурения в качестве руководства к действию. Целевое назначение скважины указывается в его заголовке. Задача приведенной ниже классификации – получить представление о диапазоне типовых задач решаемых скважиной как горной выработкой и как инженерным сооружением и научиться читать проекты на бурение скважины с титульного листа, а затем и разрабатывать их, если потребуется.

Тем, кто уже знаком с системой геологического изучения недр (лекция 2), нетрудно заметить, что каждому этапу изучения недр соответствуют скважины своего целевого назначения для получения определенной геологической информации. Однако, если на стадии региональных исследований выявляются потенциальные объекты, перспективные не на нефть и газ, а на другие, например, твердые полезные ископаемые или подземные воды, стратегия исследований меняется исходя из специфики как разведки так и последующих методов добычи этих ископаемых: то, что нельзя выкачать через скважины, придется выкапывать. Меняется стратегия и тактика, меняется целевое назначение скважины и название ГТН. Подробные комментарии к каждому из названий скважины по целевому назначению Вы найдете в книге «Основы разведочного бурения», авторы Захария И.Р., Бабец М.А., Минск, БГУ, 2003, 192 с., стр. 9-18. Конечно, если это понадобится на практике и именно в Вашей будущей сфере деятельности. Отраслевая специализация приводит в некоторых случаях к неточностям, например, на нефтепромысле Вам может попасть в руки ГТН на сооружение «специальной скважины», которая при ближайшем рассмотрении окажется стандартной водозаборной для обеспечения потребителей на промысле и т.д. Важно, чтобы по окончании института, попав, например, в Солигорске на участок по утилизации избы-

точных рассолов калийных производств, Вы понимали, что Вам покажут проект на «нагнетательную», или «поглощающую», или «специальную» скважину, конструкция и целевое назначение которой аналогичны тому, что отмечено в п. Б.3.2. для нефтегазопромислов и ПХГ (подземных хранилищ газа) и для работ на этом объекте можно привлекать технические средства и профессионалов из смежной отрасли горного дела или бурового подрядчика с соответствующим опытом работ. Базовые знания в этой области, исходя из принципа необходимости и достаточности, можно получить из технического кодекса установившейся практики ТКП 17.04-21-2010 (02120) «Правила проектирования, сооружения (строительства), ликвидации и консервации буровых скважин различного назначения (за исключением нефтяных и газовых)» стр.2 – 3, с которым вы познакомитесь на практических занятиях и, в расширенном объеме, на производстве, если упомянутый принцип «достанет» вас и там. В этом ТКП сказано, что буровые скважины различного назначения могут быть сходными по своей конструкции (с открытым стволом или с креплением обсадными трубами, с фильтрами разных типов или бесфильтровыми). Здесь нет противоречия с первым предложением в лекции, т.к. принцип необходимости и достаточности для достижения цели скважиной является приоритетным. В, например, устойчивых, достаточно твердых и прочных породах открытый ствол – это наиболее экономичное и простое решение как для зондировочных скважин из группы А, так и из группы Б.1. (а и б) и, тем более, из группы Б.3.1. (в) и т.д. Особенность будет в том, что в зондировочных скважинах будут стараться получить максимум геологической информации, а во взрывных – максимальный КПД взрыва при отпалке, соответственно и сильно будут отличаться технические средства для их бурения и т.п. В данном ТКП имеется ссылочный перечень нормативных документов, из которых можно почерпнуть дополнительную информацию по специфике бурения скважины для водоснабжения, инженерно-геологического назначения и др. Конструкции скважин усложняются (утяжеляются) как правило в связи с увеличением их глубин, усложнением горно-геологических условий проходки стволов (наличия зон несовместимости по условиям бурения) и целевого назначения скважины - в качестве долговременного эксплуатационного сооружения - горного (для эксплуатации недр и добычи полезных ископаемых) или инженерного.

Следует также понимать, что проектное целевое назначение скважины может измениться в процессе ее сооружения, как правило, это связано с вероятностью обнаружения при проходке ствола скважины артефактов, представляющих геологическую или историческую ценность. Эти «форсмажорные» ситуации законодательно оговариваются в базовых государственных документах, таких, как Кодекс о недрах и Земельный кодекс. Любая скважина – это маршрут в «терра инкогнита», т.е. в неизвестность с элементом кладоискательства.

На практических занятиях - ознакомление с содержанием ГТН и другой проектной документацией на скважины различного целевого назначения.

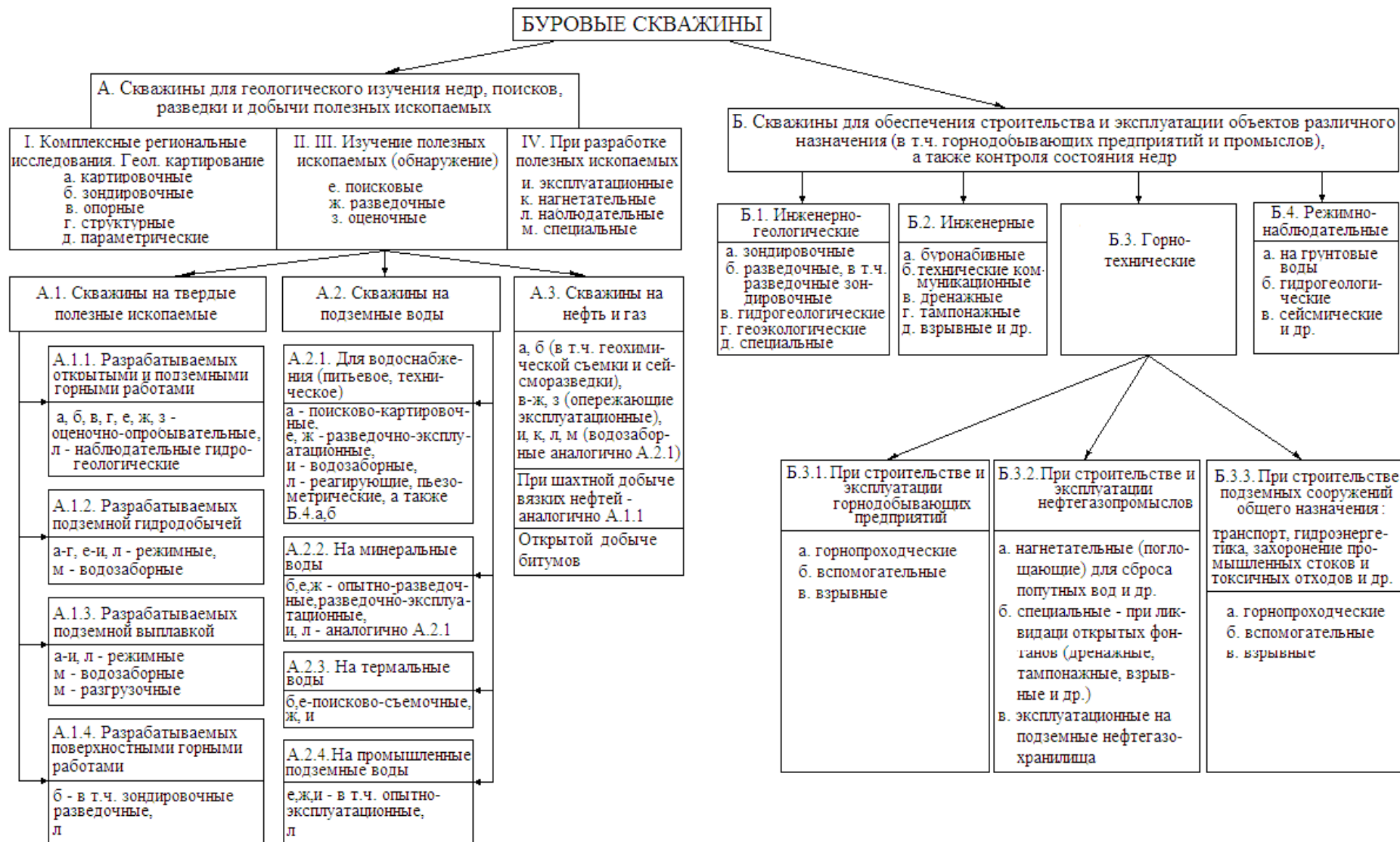


Схема 1. Систематизация скважин по целевому назначению



## **Лекция 4**

### **СПОСОБЫ БУРЕНИЯ СКВАЖИН**

Способ бурения скважин – разновидность технологии и технических средств для проходки ствола скважины (лекция 1). Существуют разные классификации способов бурения, базирующиеся на разных теоретических и эвристических посылах. Здесь приводится схема – классификация в основных чертах, предложенная д.т.н. Бродовым в Справочнике по рудной (шахтной) геофизике (схема 2). Ее достоинство – отсутствие избыточной узкопрофессиональной информации для «входящего в курс дела» и достаточная привязка к применяемой до настоящего времени отраслевой терминологии, доставшейся нам от СССР, где масштабы страны определяли масштабы направлений буровых работ и применяемый в них профессиональный слэнг. Ваша задача – усвоение смысловой части применяемой терминологии с тем, чтобы в дальнейшем унифицировать ее применительно к своему рабочему месту и коллективу. Данная схема – классификация содержит информацию, в основном, о достаточно широко применяемых на практике способах бурения (раскрашены) и минимум о тех, которые имеют более историческое значение (дробовое, разновидности ударно-канатного и пр.), либо не вышли за рамки лабораторных испытаний (бледным шрифтом), но в то же время схема позволяет заметить тенденцию «взаимопроникновения» технологий и технических средств бурения из разных «магистральных» направлений. В соответствии с этими направлениями по объемам бурения и, следовательно, потенциального количества вакансий для буровиков перечислим те способы, которые включены в схему.

**1. Инженерно-геологическое бурение**, Вибрационный, пенетрационный, забивной, шнековый, медленно вращательный буровыми змеевиками и ложками - способы бурения, применяемые в мягких горных породах (имеваемых в строительной отрасли, которую обеспечивает этот вид бурения, грунтами) где они при минимуме затрат обеспечивают качественное опробование грунтов с получением их петрографо-минералогических и физико-механических характеристик как в лабораторных условиях, так и непосредственно в скважинах на массиве горных пород (пенетрационное зондирование и др.). При работе в более крепких породах применяют технологии геологоразведочного колонкового бурения (раздел б). Способы и технологии гидрогеологического и геологоразведочного бурения используют при исследовании обводненности грунтов и оснований будущих зданий и сооружений. Отличительная особенность этого вида буровых работ – детальность исследований. Т.е. при относительно небольших глубинах бурения (в основном до 30–35 м, редко свыше 100 м) скважины бурят по достаточно плотной сетке для гарантированной надежности проектирования и эксплуатации строящихся объектов, в число которых могут входить и АЭС.

**2. Бурение на воду**. Роторное, с подвижным вращателем, реже шпindelное и ударно-канатное. Последние годы развиваются способы бурения с одновременной обсадкой скважины в неустойчивых породах, при которых к

обсадной колонне прилагают крутящий момент и осевую нагрузку. Такое оборудование активно предлагают немецкие компании.

Эти способы востребованы и в инженерном бурении.

**3. Инженерное бурение.** Использует весь ассортимент способов бурения в мягких породах, перечисленный по разделу 1 (инженерно-геологическое бурение) с той особенностью, что вопросы геологии, решенные предварительными инженерно-геологическими изысканиями, здесь отходят на второй план, на первом – экономика и поточность. Это наглядно демонстрируют, например, методы высокомеханизированного строительства буро-набивных свайных оснований с использованием бурильно-крановых машин. Такие машины с помощью сменного (навесного) оборудования позволяют реализовывать разные способы проходки скважин в зависимости от геологического разреза (свойств грунтов). В этом виде буровых работ прочно «прижился» гидромониторный способ бурения. Установки горизонтально-направленного бурения (ГНБ) можно часто увидеть на обочинах наших дорог, где они занимают бестраншейной прокладкой коммуникаций (проколами под магистралями с покрытием). Подвижный вращатель и буровой насос на ряде моделей таких установок позволяет реализовывать разные комбинации вращательного и гидромониторного направленного бурения. Для бурения по твердым породам или в техногенной среде (бетон) также используют подвижные вращатели, шпиндельные бурильные машины и станки для вращательного бурения с продувкой и промывкой.

**4. Бурение на нефть и газ.** Роторное, с забойным двигателем, с подвижным вращателем (силовым вертлюгом). «Подспособы» обычно характеризуются типом применяемого погружного оборудования – забойных двигателей и породоразрушающего инструмента (турбинное, с использованием винтовых забойных двигателей, электробурение, с гидромониторными долотами и т.д.), а также траекторией ствола или стволов скважин (наклонно-направленный способ бурения, горизонтальное бурение, кустовое, многозабойное бурение и т.д.).

**5. Горнотехническое бурение.** Основные объемы составляет бурение взрывных скважин (в том числе шпуров); в прочных горных породах это буровзрывной способ проходки горных выработок и разработки полезного ископаемого. В породах средних категорий буримости проходка бурением самих капитальных горных выработок – шахтных стволов, восстающих, бренсбергов, уклонов и т.д. обычно вращательным способом бурения. Способы бурения взрывных скважин – перфораторный с продувкой и промывкой, шпиндельный, с подвижным вращателем, ударно-вращательный с погружными пневмоударниками (раздел схемы 7) и даже огнеструйный, поскольку и здесь вопрос поточности, экономичности выходит на первый план. Автоматизация буровых операций и, тем самым, повышение безопасности условий работы персонала, особенно под землей, также являются приоритетными поэтому конструктивно буровое оборудование, реализующее один и тот же (физический) способ бурения на карьере, в забое подземной горной выработки или на поисково-разведочных работах в тайге, сильно отличается – разное

целевое назначение сооружаемых с его помощью скважин и, соответственно, их конструкций. В то же время геологоразведочная скважина может проходиться одним и тем же станком и с поверхности и из подземной горной выработки т.к. станок имеет свою целевую функциональную компоновку.

**б. Геологоразведочное (колонковое) бурение.** Реализует способы бурения, направленные на обеспечение получения максимума геологической, гидрогеологической и геофизической информации о горных породах и полезном ископаемом. Поэтому, не называемые в схеме «подспособы» связаны в основном с решением этих целевых задач: бурение с местной, призабойной и с обратной промывкой, со съёмными кернаприемниками, с двойными колонковыми трубами (наборами), с гидротранспортом керна, многозабойное бурение и т.д. На это же направлены вращательные гидроударный и вибрационный способы геологоразведочного бурения.

Однако при проектировании геологоразведочных работ приоритетен выбор самого бурового оборудования - установок вращательного бурения с разным типом привода вращения бурильной колонны и, затем, породоразрушающего инструмента. Каждый способ бурения имеет свои плюсы и минусы для решения традиционных поисковых и разведочных задач. Задача - выбрать оптимальный для, в том числе, возможности реализации «подспособов», т.е. вспомогательных технологий и технических средств с целью получения максимальной отдачи от скважины.

Для нестандартных условий принимаются новые инженерные решения. Например, электронагревательный способ бурения с отбором керна во льдах Антарктиды, где советские буровики в свое время обогнали американцев (с их способом бурения с подачей на забой перегретого пара), а сравнительно недавно этим способом «добурились» до реликтового озера на глубине свыше нескольких тысяч метров там же в ледниках шестого континента.

Новые способы проходки горных выработок и строительства инженерных сооружений разрабатывают на стыке бурения и горного дела; к таким способам можно отнести разработки дистанционно управляемых проходческих щитов для микротуннелирования и строительства шахтных стволов. В этой сфере лидируют немцы с разработками фирмы Herrenknecht которые, в частности, в Минске эксплуатирует фирма Спецстрой при прокладке нового городского коллектора. Хорошие перспективы просматриваются и у ГНБ установок отечественного производства (фирмы МЭМПЭКС г. Минск).

### **Литература:**

Технология и техника бурения: учебн. пособие под общ. ред. д.т.н. В.С. Войтенко. В 2 ч. Ч.2. Технология бурения скважин. -Минск: Новое знание; М.: ИНФРА- М, 2013 – 613с. ил.- (Высшее образование: Бакалавриат).

**Примечание:** цветным закрашены применяемые на практике способы в бурении: песочного цвета – инж.-геологическом; голубой – на воду; лимонно-желтый - инженерном; коричневый – на нефть и газ; зеленый - в геологоразведочном и гидрогеологическом; красный – в горнотехническом.



## Лекция 5

### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПРОЦЕСС БУРЕНИЯ СКВАЖИНЫ

1. Макропоказателем, характеризующим способность горной породы в массиве противостоять разрушающим нагрузкам, является **прочность**. Различают:

- а - предел прочности на одноосное сжатие;
- б - временное сопротивление сжатию;
- в - долговременную прочность (ползучесть);
- г - динамическую прочность;
- д - усталостную прочность.

Для определения прочности относительно крупные образцы горных пород подвергают испытаниям, которые могут включать одно-, двух-, трехосное сжатие, испытание на изгиб и на разрыв, динамические и долговременные статические нагрузки. В испытаниях стараются имитировать (моделировать) те условия, в которых будет находиться горная порода и параметры того технологического (физического) процесса, которому она будет подвергаться. Предел прочности на одноосное сжатие наиболее просто определить с использованием минимума технических средств и, в то же время, как базовый параметр он, в достаточной для практики степени, позволяет дифференцировать горные породы по их прочностным свойствам. Из дисциплины «Физика горных пород» вы помните о параметре **крепость** горных пород. **Коэффициент крепости** горных пород по шкале проф. Протодяконова М.М. равен частному от деления величины прочности горных пород на одноосное сжатие на 100:

$$f = \frac{\sigma_{сж}}{100}.$$

Размерность  $\sigma_{сж}$  – МПа, кг/см<sup>2</sup>, psi. Наиболее иллюстративным способом замера аналога прочности на одноосную нагрузку в массиве горных пород можно назвать метод статического и динамического пенетрационного зондирования, применяемый при инженерно-геологических изысканиях с целью определения несущей способности грунтов под основания и фундаменты зданий и сооружений. Зонд-пенетромтр задавливается в грунт (в том числе, это можно выполнить и гидравликой буровой установки) и по зависимостям «нагрузка – деформация» судят о несущих (прочностных) свойствах грунтов. Понятно, что натурные испытания имеют большую информативность и ценность для практики, поскольку в лаборатории сложно моделировать все факторы, влияющие на процесс. Выше, по п.п. а-д названы свойства, важные для буровиков в контексте прогноза того, что вас ждет в стволе конкретной скважины и на ее забое. Что надо запомнить горняку по части прочности горной породы: **прочность горной породы на разрыв, скалывание, срез, сдвиг обычно меньше, чем ее прочность на сжатие**, поэтому в долотах конструктивно стараются использовать режуще-скалывающее действие породоразрушающих элементов – зубьев и резцов.

2. Локальным прочностным показателем, характеризующим способность горной породы сопротивляться внедрению в нее инородного тела (под ним мы будем далее подразумевать породоразрушающие элементы бурового наконечника - зубья шарошечного долота, резцы буровой коронки и т.п.) является **твердость**. Относительная твердость – или «что чего царапает» вам известна из основ минералогии – шкала твердости Мооса. Процедура вдавливания твердосплавного (алмазного) штампа в металл в металлургии используется для определения твердости металла (шкала Брюннеля). В горном деле и бурении в СССР, а затем и на постсоветском пространстве используют параметр **твердости горной породы** по Л.А. Шрейнеру. По этому методу штамп – пуансон стандартного размера (по площади торца, контактирующего с горной породой) вдавливают в шлифованную поверхность образца горной породы (который обычно выбуривают из керна опорных и поисковых скважин) и по диаграммам в координатах «деформация-нагрузка», а также размерам зоны разрушения г.п. в точке контакта определяют следующие свойства г.п.:

- а – твердость;
- б – упругость;
- в – пластичность;
- г – хрупкость (рис. 3, рис. 4);
- д – удельная контактная работа разрушения;
- е – условный предел текучести.

На практике используют в основном значения твердости (удельной нагрузки по штампу в кгс/см<sup>2</sup>, МПа) для расчета необходимых осевых нагрузок на породоразрушающий инструмент для достижения его эффективной работы на забое (в режиме хрупкого разрушения, для крепких, твердых пород). При работе породоразрушающего инструмента оснащенного шарошечными породоразрушающими элементами воздействие на забой вооружением шарошек (зубками) осуществляется в динамическом, ударном режиме, поэтому значения оптимальных для реализации объемного разрушения г.п. осевых нагрузок уточняются в стендовых условиях или непосредственно на объекте работ.

3. **Плотность** г.п. (удельный вес) вспомните все, что вам давали по этому параметру в курсе «Физика горных пород», в факультативном электронном пособии «Петрофизика» (для тех, кто изучал «Полевую и промысловую геофизику»), припомните методы гидростатического взвешивания керна и шлама для расчета плотности и пустотности г.п., это вам пригодится, когда на скважине надо будет промыть забой и ствол от шлама. Промывка, продувка скважины - расчет параметров подачи очистного агента к забою и его технологических параметров привязаны к массе шлама, образующегося на забое в процессе углубки ствола в единицу времени. Знание плотности (удельной массы, удельного веса) г.п. пригодятся и при регулировании параметров работы оборудования для очистки буровой промывочной жидкости в гидроциклонных установках (песко- и илоотделители) и центрифугах.

**4. Пустотность** - это пористость, трещиноватость, кавернозность. В курсе «Петрофизика» о пустотности говорится, главным образом, в контексте коллекторских свойств водо-, нефте-, газоносных пластов. Выявление в процессе бурения объекта с повышенной пористостью и трещиноватостью (пониженной плотностью г.п.) не только положительный момент, за которым следует добыча питьевой воды, нефти и т.п. Как правило – это усложнение процесса проходки ствола, поскольку вскрытая подземная емкость - это «шкатулка с сюрпризами» - поглощениями, проявлениями пластовых флюидов и т.д. степень интенсивности которых определяется:

**5. Проницаемостью** г.п. и, конечно, действиями буровой бригады под руководством мастера или инженера технолога т.е. Вас, через два-три года.. Сиюминутный, если можно так выразится, эффект от вскрытия бурением трещиновато-пористого пласта – это увеличение механической скорости бурения (или ее снижение при подклинке трещиноватого керна твердых г.п. в колонковой трубе), вплоть до «провала» инструмента при попадании в кровлю каверны и, как отмечалось выше - изменения в кровеносной системе буровой – циркуляционной системе буровой промывочной жидкости но, это, если зона разуплотнения обладает проницаемостью и имеется дисбаланс в соотношении пластового давления и давления в скважине (гидростатического и гидродинамического). Изменения вплоть до выброса и открытого фонтана если не освоите не только тонкости профессии но и ее азы до того как попадете на буровую.

**6. Абразивность** – свойство г.п. определяющее степень износа породоразрушающего инструмента, компоновки низа бурильной колонны (КНБК) – прежде всего моторесурс погружных забойных винтовых двигателей и турбобуров, бурильных труб, гидроблоков буровых насосов и т.д. Долото «стачивается» о забой – оно для этого и предназначено - дробить и резать не стачиваясь как можно дольше. Но вот все остальное точит в основном шлам, мелкие фракции которого в буровой промывочной жидкости (БПЖ) при ее несовершенной очистке могут долго циркулировать по кругу, усиливая абразивный износ бурового инструмента и оборудования. Есть разные приборы для оценки этого свойства г.п. Наиболее нагляден метод определения абразивности «по весовому износу» буровой коронки: в стандартных условиях в образце г.п. бурим, потом взвешиваем коронку. Все понятно, только коронку жалко, особенно если алмазная. Лучше ее в скважине отработать в деле, там же и взвешивать (если хорошие весы найдутся, разрез более-менее равномерный, kern представительный и есть знания минералогии и петрографии - много если, но не для выпускников кафедры «горные работы»).

**7. Анизотропность** - слоистость, чаще всего связана с различием прочностных свойств г.п. вкрест и по напластованию. В результате забой скв. идет по пути наименьшего сопротивления – по падению пласта; ствол скважины искривляется.

#### **Интегральные показатели:**

**8. Устойчивость** (ствола скважины) – определяется всеми свойствами, упомянутыми в п.1. Взаимосвязи этих свойств с **устойчивостью ствола** не

всегда выражены явно и само свойство устойчивости оценивается в основном по результатам бурения опорных скважин умозрительно (неустойчивые, устойчивые, весьма неустойчивые интервалы ствола скв. и т.п.). Как правило, чем быстрее проходится скважина, тем лучше. Увеличение сроков бурения приводит к увеличению степени воздействия скважины на геологическую среду и усилению ее ответной отрицательной реакции. При колонковом бурении в осадочных породах частые СПО с гидродинамическими перепадами давлений в стволе скв. и разупрочнением пород в пристволевой зоне связанным, зачастую, с изменением влажности и физико-химического состояния г.п. до этого находившихся в покое миллионы лет (свойства **водоустойчивости, размываемости, растворимости, набухаемости г.п.**) приводят к ухудшению устойчивости ствола, каверно и желобообразованию, осыпям и обвалам стенок скв. При аварийных работах эта ситуация усугубляется. В то же время, грамотно и оперативно пробуренная и законсервированная скв. спустя много лет после ее расконсервации может «позволить» спустить инструмент сразу на проектный забой и приступить к дальнейшим работам в стволе.

**9. Буримость (механическая скорость бурения)** – свойство, характеризующее способность породы разрушаться при реализации определенного способа бурения. Поскольку это свойство завязано на проектные: выбор способа бурения, параметры процесса бурения, на экономику бурения, сооружения, строительства скв., то настоятельно рекомендуется на практических занятиях, при курсовом проектировании, и самостоятельно ознакомиться с существующими классификациями горных пород по буримости. При практическом соприкосновении с бурением в качестве инженерного работника вам понадобится четко, по литологическому описанию горных пород (керн проходимой г.п.) выставлять их категорию по буримости. Это зарплата буровиков, предмет оживленных дискуссий на буровой и мера вашей профессиональной компетентности. Верная оценка буримости г.п. – правильный подбор породоразрушающего инструмента – хорошая коммерческая скорость бурения – достойная оплата. Скопируйте себе на память таблицу Р-1 со стр. 20-21 раздела 1, Разрушение горной породы, **Каталога горнорудных шарошечных долот**. Руководство по эксплуатации. ОАО «ВБМ-групп» 2008 г. и посещайте сайты ОАО «ВОЛГАБУРМАШ» для знакомства с обновлениями сводной **Классификации горных пород**. С этой таблицы можно и начать заявку на приобретение породоразрушающего инструмента на том горнобуровом предприятии, куда вы попадете. А на стр. 45 посмотрите, что такое psi, футы и дюймы, если будете заказывать инструмент не в СНГ. Стр. 18- 19, 22 позволят лучше понять современную трактовку механизма разрушения г.п. при динамической ударной нагрузке на породоразрушающий элемент и почему с помощью погружных забойных пневмо- и гидроударников повышают эффективность вращательного колонкового твердосплавного бурения (лекция 4). Лабораторные замеры свойств 1а, г., 2а, 4, 6 существенно облегчат (обоснуют) определение категории буримости г.п.



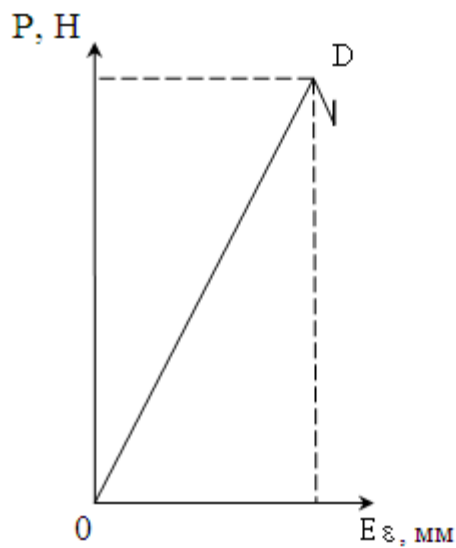


Рис. 3. Хрупкое разрушение при  
вдавливании штампа

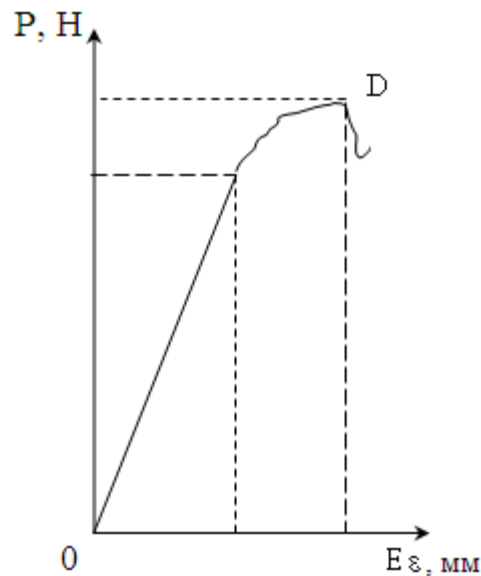


Рис. 4. Пластично хрупкое  
разрушение

На практических занятиях - приобретение навыков определения категорий по буримости г.п. по их литологическому описанию и физико-механическим свойствам для оформления соответствующих разделов ГТН.

## Литература

1. И.Р. Захария, М.А. Бабец. Основы разведочного бурения: Курс лекций – Мн.; БГУ, 2003 -192 с., с. 27-32.
2. Каталог горнорудных шарошечных долот. Руководство по эксплуатации. ОАО «ВБМ-групп» 2008 г.
3. В.С. Войтенко. Технология и техника бурения. Ч.1. Горные породы и буровая техника. – Минск: Новое знание; М.; ИНФРА-М, 2013 – 237 с.: ил. – (Высшее образование: Бакалавриат).

## **Лекции 6**

### **ВИДЫ (СПОСОБЫ) РАЗРУШЕНИЯ ГОРНОЙ ПОРОДЫ ПРИ ВРАЩАТЕЛЬНОМ МЕХАНИЧЕСКОМ БУРЕНИИ И ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ**

По характеру воздействия породоразрушающего инструмента на забой различают процессы: 1. Резание. 2. Скалывание. 3. Раздавливание. 4. Дробление. 5. Истирание (микроскалывание).

Породоразрушающий инструмент (типы, по воздействию на забой) ГОСТ 20692-2003:

#### **I. Режущее – скалывающий.**

Используют вращательный твердосплавный инструмент:

1. Лопастные долота (для бурения сплошным забоем). ОСТ 26-02-1282-75: 2Л диаметрами от 76 мм до 165,1 мм (РХ – «рыбий хвост») - двухлопастное 3Л диаметрами от 120,6 мм до 469,9 мм – трехлопастное. Пикобуры разных конструкций в т.ч. однолопастной («лопата»).
2. Бурильные головки (в глубоком бурении) и буровые коронки (в колонковом бурении) для бурения с отбором керна.

Коронки геологоразведочного стандарта диаметрами (бурения) от 76 мм до 151 мм.

По градации принятой в СССР–России–СНГ это инструмент для бурения мягких пород (маркируется буквой М). Соответственно инструмент для бурения: М - мягких г.п., МЗ – мягких абразивных, ОМЗ – очень мягких абразивных, МС – мягких с прослоями пород средней твёрдости, МСЗ – мягких с прослоями ср. твёрдости, абразивных.

При маркировке коронок также используют литеры М, С. Для работы в абразивных г.п. коронки маркируют дополнительной литерой А.

По шкале Мингео СССР–Минприроды стран СНГ это инструмент для работы в г.п. I–УШ категорий по буримости с твердостью и абразивностью от малой до умеренной и средней. В г.п. I–IУ категорий применяют ребристые коронки, в более высоких категориях – резцовые, в абразивных – самозатачивающиеся типа СА (резцы компануются в «штабики» по типу лезвий в самозатачивающихся бритвах).

#### **II. Скалывающе – дробящий.**

Используют твердосплавный инструмент вращательно-ударного действия.

1. Долота и бурильные головки шарошечные с полуконической шарошкой. Смещением в конструкции долот осей вращения шарошек относительно оси долота достигаются (коэффициент скольжения шарошек), касательные, скалывающие нагрузки на забой.
2. Коронки для гидро- и пневмоударного вращательного бурения с более прочными (массивными) корпусами и резцами (по сравнению с коронками «чисто» резцового типа).

Это инструмент для бурения в г.п.: С – средней твердости, СЗ – средней тв., абразивных, СТ – средней тв. с пропластками твердых, Т – твердых, ТЗ – твердых абразивных. Для коронок, аналогично, используют литеры С, Т, А.

Работают в г.п. от V до XII категорий буримости.

### III. Дробящий.

Твердосплавный инструмент ударно-вращательного действия.

1. Шарошечные долота и бурголовки с шарошками с конической поверхностью.
2. Долота, бурголовки, коронки для пневмоударного бурения пневмоударниками с высокой энергией удара.

Для бурения в г.п. до XII категории, любой твёрдости с прочностью от умеренной до весьма прочных. Литеры ТК - твердые и крепкие, ТКЗ, К, ОК - очень крепкие.

Как связаны крепость и прочность – см. коэф. Протодяконова (лекция 5).

### IV. Истирающий.

Алмазно-твердосплавный инструмент.

Алмазные долота, бурголовки, коронки для бурения в г.п. VII – XII категорий, абразивных от умеренно твердых до весьма твёрдых. Долота типа ДИР (истирающее – режущие) и др. с поликристаллическими вставками из искусственных и натуральных технических алмазов. По распределению алмазов во вставках (в матрице) могут быть однослойные (многослойные) и импрегнированные. В маркировке, соответственно, литеры А и И.

Лекция иллюстрируется плакатами и учебными фильмами.

Приведенный выше материал закрепляется на практических занятиях по ознакомлению с:

А – конструкциями породоразрушающего инструмента и визуальными признаками, позволяющими определить тип инструмента и сферу его применения (в каких г.п.);

Б – маркировками и местами расположения маркировок на долотах и коронках;

В – примерами расчета режимных параметров бурения породоразрушающим инструментом разного типа.

Г – породоразр. инструментом для спецработ, в т.ч. и аварийных.

### Терминология:

В колонковом бурении:

**Долото** – для бурения сплошным забоем, **коронка** – для бурения с отбором керна.

**Колонковый набор для отбора керна (пример)** – это компоновка низа бур. колонны (от забоя, снизу вверх): коронка, кернорватель, колонковая труба, переводник с колонковой на бур. трубы (БТ).

В глубоком бурении:

**Долото** – общее название породоразрушающего инструмента, отсюда термины «долото для бурения сплошным забоем», «колонковое долото». Согласно базовым учебникам (Вадецкий и др.).

Долото - преимущественно для бурения сплошным забоем, бурильная головка – для отбора керна. КНБК (компан. низа бур. кол. ) для отбора керна – **керноотборный снаряд** (керноотборный инструмент), например, типа «Недра», снизу вверх: бурголовка, собственно двойной или иной конструкции керноприемный снаряд с кернорвательными устройствами (устройством) в его нижней части (над бурголовкой), переводник на БТ (утяжеленные бур. трубы - УБТ ).

В горном деле: буровым наконечником, долотом, коронкой могут называть любой инструмент как для бурения сплошным забоем, так и кольцевым. Отсюда термины «колонковый бур (с буровым наконечником)», «коронка для перфораторного бура» и т.п. что связано с основными объемами взрывного бурения сплошным забоем и только эпизодически с отбором проб г.п. – керна.

#### **Литература:**

1. Вадецкий Ю.В. Справочник бурильщика. .Изд. центр «Академия», 2008г. 415с.
2. Каталог долот ОАО «Волгабурмаш», 2008г.

## Лекция 7

### ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН

#### Термины и определения:

**Бурильная машина** (горный термин) **БМ** – машина, предназначенная для бурения шпуров (скважин диаметром до 75 мм, глубиной до 5 м) и скважин. Термин применяется в строительстве, например – бурильная машина для сверления бетонных перекрытий типа ИС (бывшего СССР) представляющая из себя вертикально-сверлильный станок на передвижной станине. Типоразмерный ряд мобильных передвижных строительных бурильных машин финской фирмы Husqvarna, представленный на рынке РФ и т.п. Большинство из них представляет из себя симбиоз ручных сверл и перфораторов с устройствами (стойками) для их фиксации и подачи инструмента в скважину. В горном деле, при буровзрывной проходке горных выработок, перфоратор для бурения шпуров на подпорной или распорной стойке (колонке) называют «колонковым перфоратором» при этом он ничего общего кроме совпадения слов одного корня с «колонковым турбодолотом», упомянутым в лекции 6, не имеет. Как говорится: назови, чем ты работаешь, а я назову, кем ты работаешь. What are you? **Бурильно-крановые машины** (строительный термин) **БКМ** - буровая машина, размещенная на поворотной (крановой) самоходной (колесной или гусеничной) платформе. Предназначены для бурения скв., в основном под буронабивные свайные основания, в стесненных условиях строительной площадки, где поворотная платформа позволяет бурить скважины по плотной сетке и сократить потребности для этого перемещения БКМ.

**Буровой станок, БС** – комплект бурового оборудования компактно смонтированный на передвижной станине (станки типа СКБ, ЗИФ на геологоразведочных работах) или на самоходной гусеничной платформе (станки типа СБШ на открытых горных работах - карьерах). На подземных горных работах комплект бурового (бурильного) оборудования смонтированный на самоходной колесной (в том числе шасси вагонеток) базе для бурения шпуров называют **буровыми каретками**.

**Буровой агрегат, БА** – комплект бурового оборудования, сосредоточенный на одной или нескольких передвижных или самоходных платформах, агрегированный (собранный) под конкретные условия бурения.

**Буровая установка, БУ** (термин геологоразведочный и «нефтяной»). Включает в себя БА или БС, средства выполнения спуско-подъемных операций – СПО и вспомогательное оборудование. Типичный пример - буровые установки глубокого разведочно-эксплуатационного бурения.

### УСТАНОВКИ ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН

#### Основные параметры, характеризующие БУ:

1. **Грузоподъемность** («усилие на крюке») – усилие «вверх», приложенное к буровому инструменту (бурильной или обсадной колонне), которое

может развить вышечно-лебедочное оборудование БУ. Усилие «вверх» и усилие «вниз», которое может развить система подачи бурового инструмента.

### **2. Мощность привода. 3. Проектная глубина бурения.**

При грамотном конструировании БУ мощность ее привода и грузоподъемность почти синонимы, но только в том случае если прочностные характеристики трансмиссии и вышки (мачты) БУ «потянут» поднимаемый из скважины груз. Это особенно существенно для БУ с палиспастной системой подъема инструмента. Проектная же глубина бурения характеризует, в целом, диапазон глубин, который можно и целесообразно «вскрывать» этой установкой для сооружения скважин определенного целевого назначения (исходя из ее параметров 1 и 2 и при использовании стандартного, по весовым характеристикам, для рассматриваемых условий бурового инструмента). Есть много примеров инженерных решений, когда БУ, спроектированные под одни целевые задачи (и глубины), использовались для других, более насущных, с приемлемым практическим результатом.

## **КЛАССЫ (категории) БУ**

**I. Переносные.** К ним относят ручные буры, мотобуры, в т.ч. монтируемые на опорных колонках, перфораторы и т.п. Т.е. то, что выше мы упоминали как бурильные машины. Однако их отличие от БМ в том, что основная задача легких БУ это бурение скважин в труднодоступных местах куда геологи-работяги добираются гужевым транспортом или пешком. Поэтому критерий «переносимости» - возможность перетаскивания БУ или ее основных узлов одним-двумя рабочими, т.е. их масса должна быть в районе – до 70 кг. А их целевой диапазон шире, чем бурение шпуров – появляется колонковый, т.е. керноотборный инструмент, средства отбора проб для геохимических и геофизических исследований и т.д.

Классический пример времен СССР (выпускается до настоящего времени) – УКБ 12/25, на замену которой фирма Геомаш (г. Москва) разработала БУ «Опенок», легкая БУ немецкой фирмы Normeer и т.п. Сюда можно отнести «старичок» БСК-2М-2-100, который в разных модификациях выпускается для геологоразведочного бурения по настоящее время и может вам попасться в Солигорских шахтах. Его аббревиатура расшифровывается вообще-то как буровой станок для колонкового бурения, однако в комплекте к нему идет буровой промывочный насос, а если сюда добавить емкость для промывочной жидкости и вспомогательную лебедку с автономным приводом, получится БА и даже БУ. За две–три смены (под землей смена – 6 часов) бурильщик с помбуром в состоянии станок разобрать и «перекантовать» все хозяйство по штреку из одной рассечки в другую (лучше все-таки с помощью электровоза). И потом забуриться коронкой 46 мм на бур. трубах 33,5 мм с надеждой без проблем добуриться до проектной глубины разведочной скважины – 100 м. Грузоподъемность этой категории БУ в «районе» до 0,5-1,0 т, мощность привода 8–10 л.с. (1л.с.= 735,5 Вт), глубина бурения - метры, первые

десятки метров. Будем считать БСК-2М в «верхней части» этой категории - у него мощность привода станка - 7 кВт, насоса - до 7кВт, проектная глубина бур.- 100 м.

**II.** БУ для бурения неглубоких, в основном геологоразведочных скважин. Как правило, самоходные, реже, при глубинах более 500 м - передвижные. Применяются, в том числе, и для бурения из горных выработок (открытых, подземных). Грузоподъемность 1–50 т, привод 15-700 кВт (танковый дизель), глубина – от сотен до 1-2 тыс. м. Проектная глубина предполагает разведку полезных ископаемых до глубин, достигаемых подземными горными работами.

**III.** БУ для глубокого разведочного и эксплуатационного бурения на нефть и газ. Грузоподъемность от 75 до 320 т и более (сверхглубокое бурение – до 500 т), привод - 1,5-5,5 тыс. кВт (от 3 до 8 ДВС - двигателей внутреннего сгорания типа танковых дизелей), глубина скважин - 3-5 тыс. метров. БУ немецкой фирмы Бентек, эксплуатируемая в РУП ПО «Беларусьнефть», при мощности привода около 4 тыс. кВт обеспечивает глубину бурения до 6700 м. (Новомосковская площадь скв. №1) т.е. с меньшей приводной мощностью - большая достигаемая глубина – это экономия топлива и, в конечном счете, денег. На акваториях – плавучие БУ – **ПБУ**, а также самоподъемные плавучие БУ - **СПБУ**, морские стационарные нефтедобывающие платформы – **МСП**, в состав которых входят передвижные БУ для кустового бурения, симбиоз судна с БУ – Буровое судно. Все это «подставки» под БУ с параметрами БУ указанными выше. К параметрам морских БУ добавляется еще один из числа основных - глубина акватории, на которой она может работать, неизвестная катастрофа на платформе ВР в Мексиканском заливе произошла на глубине около километра, нам с вами «донырнуть» в этом курсе до причин отказа устьевого оборудования на морском дне не удастся. Хотя сюжет об этом в Дискавери промелькнул. Если найдете в Интернете – организуем «разбор полетов».

**IV.** Установки (БА) для освоения, испытания и подземного ремонта скважин. На шасси (авто, гусеничн.) с грузоподъемностью БА, как правило, меньшей, чем у БУ, использовавшихся для бур. скв., на которых БА эксплуатируют (т.к. нет операций с обсадными колоннами выполняемых БУ). Приспособлены для работы на эксплуатационном фонде скв. в нефтегазодобыче. «Расхожий» диапазон грузоподъемностей – 50-80 т. Пример - старые, надежные А-50 (из Питера), поступавшие в Беларусь из Украины УПА–60, наши отечественные агрегаты, выпускаемые з-дом Сейсмтехника, установки гибких труб пр-ва компании Фидмаш (г. Минск) и т.д. По мере отработки наших нефтяных ресурсов и увеличения общего числа пробуренных скважин объем работ смещается в сторону обеспечения работоспособности уже имеющегося фонда скважин, т.е. в подземные ремонты с использованием для этого специализированного оборудования, БА и БУ, в котором являются лишь составляющими обширного перечня.

**V.** Специализированные БУ, (БА, БС).

**1.** Для бурения на воду.

Грузоподъемность 20-50 т, глубина до 600-1000 м, привод до 200-300 кВт. Пример БА – 15 (привод от автомобильного шасси МАЗ, КРАЗ и т.д.), БУ-235, УРБ–3АМ и др. Имеются узкоспециализированные установки в этой области, например выпускавшиеся в Союзе УДВ-25 для полевого водообеспечения войск по методу «эфиопского колодца» с глубин до 25 м и др.

2. Для инженерно-геологического бурения; АВБ (агрегат вибрационного бурения), УГБ-1ВС, УГБ- 50, ПБУ-2 (многоцелевая) и т.д.

3. В строительстве (инженерное бурение).

3.1. Бурильно-крановые машины (привод от автошасси) типа БКМ, БКА.

3.2. БУ и БС для бестраншейной прокладки коммуникаций горизонтально-направленным бурением. БУ – дистанционно управляемые проходческие щиты для микротуннелирования.

3.3. Саперное буровое оборудование для вооруженных сил.

3.4. Шурфопроходческие агрегаты и БУ для бур. шурфов и трубчатых колодцев.

4. Для горнорудной промышленности.

4.1. На открытых горных работах – БС (типа СБШ и т.п.) совмещающие все функции БУ при бурении взрывных скв. на карьерах.

4.2. На подземных горных работах – БС для бур шпуров, буровые каретки, горнопроходческие БА и БМ., БУ для проходки шахтных стволов.

5. Для особых условий.

5.1. Сверхглубокое бурение (до 8 км и более).

Пример Уралмаш 15000, грузоподъемность до 500 т.

5.2. Под водой, с морского дна – сбрасываемые дистанционные или автономные БУ, БС.

5.3. Во льдах (Антарктида), в т.ч. плавлением льда.

5.4. Вне Земли – Луноходы, Марсоходы – одна из задач у всех – отковырнуть, выбурить, изучить на месте, доложить, доставить.

На практических занятиях – фильмы по буровым работам и БУ, БС, БА, БМ на ОГР, ПГР, строительстве, геол. разведке, глубоком бурении на нефть и газ. В группах по направлениям специализации соответственно.

### **Литература:**

1. Воздвиженский Б.И., Ребрик Б.М. «В глубь Земли». Разведочное бурение - от прошлого к будущему. М. Недра, 1989, 168 с.

2. Копылов В.Е. К тайникам Геи. М. Недра, 1990, 157 с.

3. Копылов В.Е. Бурение? Интересно! М. Недра, 1981, 160 с.



## Лекция 8 «ГЕНЕАЛОГИЯ» БУРЕНИЯ

Гены, генезис, генеалогия – термины из биологии, но в данном случае они наиболее корректно характеризуют то, что Вам желательно усвоить из Дарвиновской теории применительно к происхождению способов бурения путем естественного отбора и выжившего до настоящего времени в этих способах оборудования и инструмента. Неизвестно кто придумал колесо, но понятно, что он решал прикладную практическую задачу - транспортировку с минимальными энергозатратами. Кто первый задумал сделать дырку в горной породе или изделиях из нее тоже неизвестно, но пытался он это сделать нанося удары и царапая г.п. вращательными движениями инструмента, например бамбука «армированного» на нижнем конце кремневым наконечником. При этом выяснилось, что эффективность бурения очень зависит от прочности самого наконечника и передаточного звена – бамбуковой палки. С тех пор все, что выдает прогресс - самое прочное и износостойкое попадает в скважину для того, чтобы разрушить г.п. на забое скважины. Ударно-поворотное и вращательное бурение это то, с чего все начиналось и что до настоящего времени является основным способом проникновения в геокосмос. Каждый рекорд в глубине проникновения в него – это результат применения все более прочных, имеющих специальные физико-механические свойства материалов. В поучительном, правда американском, фильме «Изгой» герой, попавший на необитаемый остров в результате насущной необходимости выжить, добывает огонь трением. Горный инженер, попавший в глухие места юго-восточной Азии или Индии, может обнаружить, что и бамбук еще помогает выживать тем, кому надо добыть питьевую воду из-под земли. Поэтому «ствол генетического древа» мы рассмотрим, начиная с рис. 5, 6, 7, на которых приведена схема и перечень основного оборудования и инструмента, необходимых для ручного бурения скважин медленно-вращательным и ударно-поворотным способами. На рис. 7 два мужика крутят, как сейчас бы сказали нечто, похожее на садовый бур, который можно купить в хозмаге. Но на рисунке уже обозначена подвеска бура - **бурового инструмента** – а именно: **на вертлюге** – устройстве, обеспечивающем возможность вращения бурового инструмента без закручивания элементов подвески. Подвеска инструмента на веревке, канате, металлическом тросу (**тали**) присоединенном к другому важному и практически ценному изобретению человечества – **лебедке** рис. 5, поз. 7), позволяет резко повысить вертикальное тяговое усилие, прилагаемое к буровому инструменту. Из скважины можно поднять 0,5 тонны на «прямом» конце обычной ручной лебедки, а следовательно, и спустить в нее уже не два–пять метров передаточного звена – стальной трубки, которую смогли бы выдернуть два физически крепких мужика, а уже метров 10–20. Однако понятно, что такой длинномерный груз - вертикальную **бурильную трубу**, в один прием можно «поддержать» только на высоту подвески тягового троса. На рис. 5, 6 появляются **буровые копры** – треноги, лебедка крепится на одной из ног копра, а на стальном стержне

– шкворне, которым скрепляют верхушку копра, на металлической серьге подвешивается **блок** для протяжки троса от лебедки к вертлюгу - это уже простейшая механизация спуско-подъемных операций – СПО. Для крепления бурильных труб к вертлюгу, а также бурильных труб друг к другу, на них накручиваются соединительные элементы с прорезями (выточками) по бокам - бурильные **замки** (на рис. не показаны). В прорезь верхнего замка вставляется **фарштуль** (см. рис. 7), подвешиваемый на имеющий возможность проворота в корпусе вертлюга крюк. С увеличением глубины скважины растет количество бурильных труб и их суммарная масса – «**вес бурового инструмента**», «**нагрузка на крюке**». Трудоемкость СПО возрастает прямо пропорционально числу бурильных труб. Для облегчения СПО (трудоемкости, затрат времени) высоту бурового копра и, исторически пришедшей ему на смену, металлической **буровой вышки и (или) мачты** увеличивают, что позволяет увеличить подвеску блока и извлекать буровой инструмент секциями сразу из нескольких бурильных труб - **свечами** («двух, трех, четырехтрубками» и т.д.). В свечи бурильные трубы свинчиваются **на муфтах**, между собой свечи соединяются **бурильными замками**, как уже отмечалось, резьбовыми соединительными элементами, обеспечивающими как многократное «свинчивание-развинчивание» свечей, так и их подвеску на **элеваторе** (вариантом которого для ручного бурения является подвеска фарштуля). На рис. 8 колонковое бурение осуществляют буровым инструментом – **бурильной колонной**, собранной из свечей – трех трубок суммарной длины свечи около 18 метров. СПО выполняют через блок, уже жестко закрепленный на вершине буровой вышки – **кронблок**. Высота вышки, с учетом длины подвески (элеватор, вертлюг) достигает более 20 м (например вышка ВР- 24). С таким оборудованием работают до глубин 1,5–2,0 тыс.м. Отвинченные свечи при подъеме инструмента из скв. составляют в вышке на «подсвечник». На неглубоком бурении, в том числе и ручном, когда устойчивость мачты или копра недостаточна, СПО выполняют «свечами на вынос», т.е. каждую свечу, обычно вручную, вытягивают и укладывают на мостки или площадку перед **буровой установкой** - работа физически тяжелая и плохо оплачиваемая, предоставляемая тем, кто не очень хорошо учился. С дальнейшим ростом «нагрузки на крюке» и глубин бурения до 3 тыс. и более метров, в вышке башенного (рис. 9) и А-образного (рис. 10) типов подвешивают **палиснаст** – талевую систему, в которой **ходовой конец** троса от лебедки через кронблок идет на подвижный **талевый блок**, к которому, в свою очередь, подвешивается вертлюг и элеватор (рис. 10). Талевый блок и вертлюг могут выполняться в виде единого **крюкоблока**, на который с помощью **штропов** подвешивают элеватор большой грузоподъемности до 300 тонн и выше. (БУ Бентек немецкого производства, эксплуатируемая в РУП «ПО «Белоруснефть» - 500 тонн «на крюке»). С глубиной скв. «растут» длина свечи и высота вышки (более 32 м). Теперь вернемся к рис. 5-7, остановимся на способах бурения, и обнаружим, что многие способы бурения генетически происходят от двух мужиков с садовым буром, которые крутят его не за приваренные ручки (как у реального садового бура), а с помощью поворотного хомута, т.е. тех же ручек, только

имеющих возможность быстрого перекрепления на бурильных трубах: закрепили на уровне груди, хорошенько навалились с проворотом – это **медленно-вращательный способ** бурения по мягким породам с использованием породоразрушающего инструмента - ложковых буров («ложек»), змеевиков, шнеков и т.п. Но вот на забое встречен валун – порода 7-9 категорий по буримости. Китайские мужики 2 тыс. лет назад обнаружили, что в этом случае лучше прикладывать динамические нагрузки - приподнял инструмент над забоем - сбросил, снова приподнял, провернул слегка и сбросил; клинообразное лезвие долота бьет в разные точки забоя, горная порода дробится и скалывается. А если возвратно-поступательное движение каната создавать с помощью рычага (на рис. 7), то **расходку** инструмента может выполнять и не Шварцнегер. Этот рычаг под названием **балансир**, а затем – **балансирующая рама**, стал неотъемлемым элементом ударного способа бурения. Также китайцами обнаружилось, что с увеличением массы бурильного инструмента ходящие по кругу не два буровика, а ослы, мулы или даже быки не обеспечивают необходимого для вращательного бурения крутящего момента – устают, да и с глубиной г.п. идет потверже, проходка падает. А вот ударное бурение - это достаточно несколько тяжелых ударных штанг над долотом для обеспечения «силы удара» долота, а выше, даже в скважине - канат, который можно наматывать на барабан (лебедки) и глубина бурения возрастает при примерно тех же мощностях привода (ослики и мулы). **Ударно-канатное бурение** в Китае достигло глубин в сотни метров, правда бурили упорно, одну скважину годами, отец, сын, внук: пищевая соль была очень нужна. На рис. 7 над ударными штангами крепятся бурильные трубы (бурильные штанги) вплоть до устья скв. - это уже **ударно-штанговое бурение**. В зависимости от технического и инструментального «апгрейда» эти базовые варианты ударно-канатного и штангового бурения в свое время размножились, чтобы затем отступить с мировой буровой сцены в глухие провинции Африки, Азии и бывшего СССР, а сцену уверенно заняло, по мере замены живого привода механическим, вращательное (высокооборотное) бурение. В этом способе бурения функцию передачи бурильному инструменту вращения и осевой нагрузки взяли на себя механизмы суммарной мощностью, на БУ глубокого бурения, до 5-6 тыс.кВт и более. Конструктивно наиболее простой, а потому и наиболее работоспособный в сложных полевых условиях бурения - **роторный способ** бурения (рис. 11). Система подачи инструмента в скважину, та же что на рис. 7 – с лебедки. А вот привод вращения бурильных труб - самая верхняя бурильная труба - **ведущая труба**, выполнена из профильного сечения (квадратного, шестигранного - отчего проф. слэнг – «квадрат»), а вместо поворотного хомута (рис. 5-7) появился **роторный вращатель** («**ротор**»), имеющий неподвижный корпус, в котором вращение от привода передается на **стол ротора** и вкладыш с отверстием квадратного сечения под ведущую трубу. Ротор всерьез и надолго (рис. 9 и 10) закрепился в глубоком бурении, где вес «на крюке» достигает десятков и сотен тонн. Теперь снова к рис. 5-7: как разрушить породу на забое понятно, а как ее убрать на поверхность? Ложки, змеевики - спустил на забой, пробурил на длину ложки, поднял на

поверхность (СПО) вытряхнул, подал на скважину - начало нового **рейса**, и так до бесконечности (если ложковый бур длиной 1м, а скважину надо пройти до 100 м и более). Шнек облегчит задачу, но по мягким породам и на относительно небольшую глубину; только первые десятки метров шнек достаточно эффективно выполняет функцию винтового транспортера. Другое дело, если по бурильным трубам подать на забой буровую промывочную жидкость – **БПЖ**, тогда разрушенную породу можно вымывать из скважины, а при разрушении породы по всей площади забоя (долотом) бурильный инструмент потребует подняться только для замены изношенного долота. Бурение длинными рейсами при хорошей стойкости долота позволит резко повысить производительность бурения. Поэтому на рис. 11, поз.7 появляется **сальник - вертлюг**, обеспечивающий подачу БПЖ во вращающуюся ведущую трубу без «намотки» на нее подводящего гибкого нагнетательного шланга от бурового насоса (рис. 12). На глубоком бурении, когда насосный блок удален от буровой площадки (от ротора), между насосом (насосами) и шлангом к ведущей трубе монтируется система трубопроводов – манифольд. Относительно буровых насосов следует четко запомнить, что они в подавляющем большинстве (поршневые, плунжерные) имеют жесткую рабочую характеристику, т.е. с ростом гидросопротивлений в нагнетательной магистрали (в скважине) практически незначительно изменяют количество подаваемой БПЖ, зато пропорционально увеличивают потребление мощности привода. На практике это позволяет оперативно отслеживать ситуацию в стволе скважины и повысить устойчивость (надежность) промывки скв. в осложненных условиях. Аналогия с контролем артериального давления при работе насоса объемного действия - человеческого сердца. Роторное бурение с промывкой – это весь 20-й век. Ударное штанговое бурение тоже позволяет работать с промывкой. Ударно-канатное – канала подачи жидкости на забой нет, поэтому БПЖ просто подливают в скв. и в промежутках между **долблениями** т.е. работой долотом на забое пульпу шлама вычерпывают **желонкой**: стальной трубой – ведром с клапаном в днище спускаемой на тресе на забой. На территории РБ это еще можно увидеть при специальных видах работ. Однако у роторного способа есть недостаток, а точнее большой минус: можно создавать осевую нагрузку только весом инструмента и сверху вниз в направлении действия силы тяжести. Бурить с нуля по твердым породам, бурить горизонтально и восстающие скв. – нельзя. В этих условиях нужна принудительная подача инструмента, поэтому широкое распространение получили станки с **вращателями шпиндельного типа** (на рис. 13 станок типа ЗИФ 1200, на рис. 14 схема шпиндельного вращателя, на рис. 8 размещение станка на БУ). Эти вращатели фактически выполняют функцию двух бурильщиков с рис. 7: бурильный инструмент (ведущая) зажимается в шпинделе профильного сечения (верхним и нижним зажимными патронами), через траверсу на шпиндель передается осевое усилие от гидроцилиндров, вниз и вверх – тонны, десятки и даже сотни (для мощных буросбоек станков подземного бурения) тонн, и вращение от конической зубчатой передачи – сотни и до тысяч об/мин. Шпиндель при этом можно разворачивать

под любым углом к горизонту: вниз-вверх, вправо-влево. Но для СПО осталась необходимость в лебедке, которая с рис. 5, поз. 7 «переместилась» непосредственно на буровой станок рис. 8, поз. 17. При бурении под землей блок (кронблок) можно закрепить в кровле горной выработки (восстающей) и работать без вышки. Станок комплектуется насосом, емкостями ЦС (циркуляционной системы) и, БПЖ через сальник – вертлюг на верхнем конце ведущей подается на забой - буровой агрегат в работе. Однако минусы есть и у этой шпиндельной конструкции, которая достаточно долго эволюционировала от первых шпиндельных станков фирмы Крелиус (Швеция) с механическими системами создания осевого усилия на шпинделе. Не вдаваясь в подробности отметим, что поиски альтернативного типа вращателя, соединяющего лучшее из названных двух привели к развитию так называемых **подвижных вращателей**, которые к настоящему времени доминируют при бурении в диапазоне глубин до первых тысяч метров и активно наступают в сегменте глубокого бурения на нефть и газ. Простейший вариант, из первых: принудительную подачу вращателя, а именно электродвигателя с присоединенным к валу ротора эл. двигателя бур. инструментом осуществляют через систему блоков с помощью талевой системы, которую применяют и для СПО. Эти станки еще можно встретить на открытых горных работах на территории бывшего СССР при бурении по относительно мягким породам. В некоторых моделях БС и БУ до настоящего времени применяют механические системы подачи инструмента (винтовая и ее модификации). По мере роста надежности и компактности гидро- и электроприводов повышенной мощности удалось конструктивно, с достаточной для условий даже глубокого бурения работоспособностью, разместить в моноблоке - подвижном вращателе, полый вал с сальником вертлюгом на его верхнем конце и двигатель (электро-, гидро-) привода вращения вала через редуктор. Это обеспечило хорошую конкурентоспособность подвижных гидро- и электровращателей. А вот системы подачи корпуса вращателя, а вместе с ним и бур. инструмента, который крепится к полному валу вращателя снизу, по длиномерной (длинномерным) направляющим, размещенным в вышке или на мачте БУ (рис. 15) могут варьировать от тросовой, гидравлической, цепной (БКМ – бурильно-крановые машины, станки ГНБ – горизонтально-направленного бурения и т.д.) до использования двигателя пошаговой подачи вращателя по направляющим в самом вращателе или, как его называли нефтяники, «выросшие» на роторном способе бурения, в «силовом вертлюге». А что же с ударным бурением в его разновидностях, в зависимости от силы, частоты ударов и сочетания их с проворотами и отрывом бура от забоя: **ударно-поворотным, забивным, вибрационным**, не говоря уже о «просто» бурении задавливанием – **пенетрационным**? Практика довольно быстро показала, что кувалдой с поверхности, ручной или механической, глубоко вниз инструмент не загонишь, к.п.д. передачи динамической энергии удара к забою падает пропорционально длине передаточного звена – бур. штанг или труб. Поэтому ручными пневмоперфораторами в основном ломают асфальт, а на горных работах проходят шпурсы. С увеличением глубины скважин в сухих разрезах

ударные машины – пневмоударники, а в обводненных - гидроударники и гидровибраторы переместились в забой, где они позволили более эффективно реализовывать ударные нагрузки на горную породу через породоразрушающий инструмент и повысить эффективность бурения в очень твердых породах основного – вращательного способа бурения с промывкой и продувкой. Привод этих машин - часть энергии потока очистного агента, которая обеспечивается выше упомянутыми буровыми насосами объемного действия (или компрессорами). В некоторых случаях эти «виды» бурения живут очень насыщенной жизнью в своей «экологической нише» - например, самодвижущиеся пневмопробойники (при прокладке коммуникаций), погружные автономные буровые гидровибрационные установки для работы на акваториях (Донецкого политеха) и др. Насчет к.п.д. бурения, с точки зрения подвода энергии к забою, то это область апробации всего, что предлагает человеческая мысль. Естественно, что были и постоянно возобновляются попытки адаптировать к забойным условиям (агрессивная среда, давление, температура) погружные электродвигатели - **шлангокабельное бурение, электробурение** (на бур. трубах) - для вращательного бурения. Но выжили и успешно размножились для глубокого вращательного бурения - **турбобуры и винтовые забойные двигатели (ВЗД)** - погружные гидравлические машины, обеспечивающие вращение долота на забое со скоростями до сотен оборотов в минуту, гораздо более высокими, чем при роторном бурении. Привод - от буровых насосов потоком БПЖ - т.е. гидропривод, в котором зафиксированная (в роторе) бурильная колонна является гидромагистралью и, одновременно, элементом гашения реактивного момента на корпусе забойного двигателя, возникающего при вращении его ротора. Электрокабель в скважине оказался очень жизнеспособным при бурении (плавлением льда кольцевым электронагревателем) во льдах Антарктиды, отчего не угасает мысль о возможности достичь разрушения и плавления и других горных пород электрофизическими способами, лазерами, термоядерной энергией и всем тем, что может быть придумано для звездных войн и спущено в скважину на гибкой магистрали или пущено в автономное плавание. Сейчас на переднем крае практического применения способы **бурения с использованием гибкой стальной колонны** бурильных труб и ВЗД. Уже выпускаются углепластиковые многоканальные трубы, потенциально способные обеспечить более надежный подвод на забой электропитания. Но если спуститься с небес на землю и натянуть шланг от обычного коммунального водопровода (давление 2 атм.) на дюймовую водопроводную же трубу (длиной пару метров и приплюсненную слегка на нижнем конце молотком), то вы успешно пробурите в песке у себя на огороде скважину гидромониторным способом. А если взлететь выше неба, на Луну, то, возможно, вы и там найдете ручной «садовый бур», с которым был в телевизоре замечен один из астронавтов миссии Аполлон. На ветвях генеалогического древа бурения (см. лекцию 4 и схему 2 к ней), корнями стремящегося к мантии Земли, а кроной в космос, появляются новые ростки.

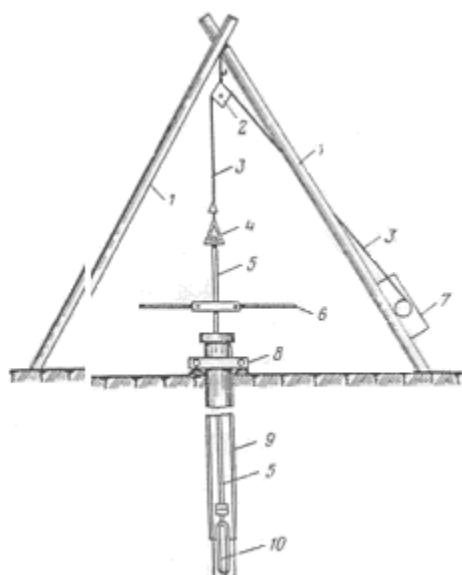


Рис. 5. Схема установки для ручного вращательного бурения:  
 1 – вышка трехногая; 2 – блок; 3 – канат;  
 4 – вертлюг; 5 – бурильные трубы; 6 – поворотный хомут; 7 – лебедка; 8 – трубный хомут; 9 – обсадные трубы; 10 – ложковый бур

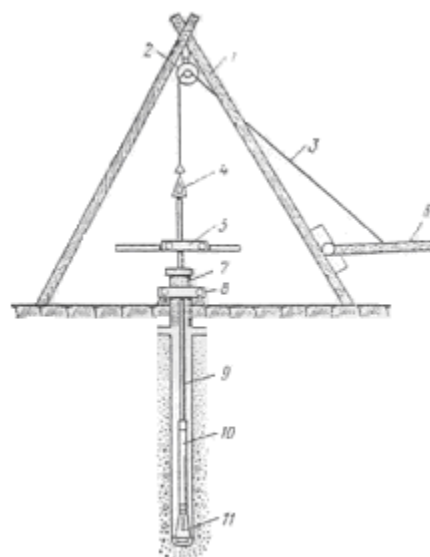


Рис. 6. Схема установки для ручного ударного бурения:  
 1 – вышка трехногая; 2 – блок; 3 – канат;  
 4 – вертлюг; 5 – поворотный хомут; 6 – балан-  
 сир; 7 – обсадная труба; 8 – хомут;  
 9 – бурильная труба; 10 – ударная штанга;  
 11 – долото

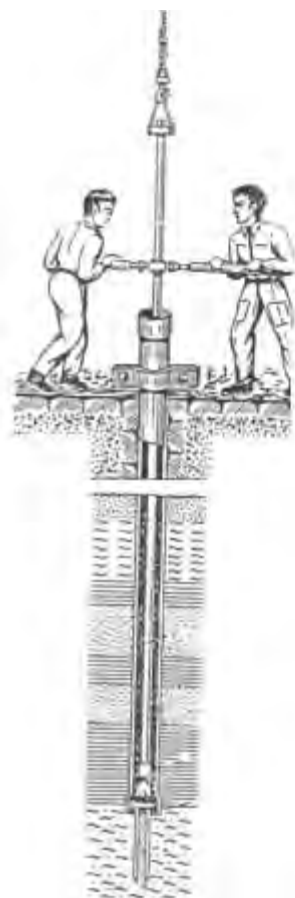


Рис. 7. Схема ручного вращательного бурения

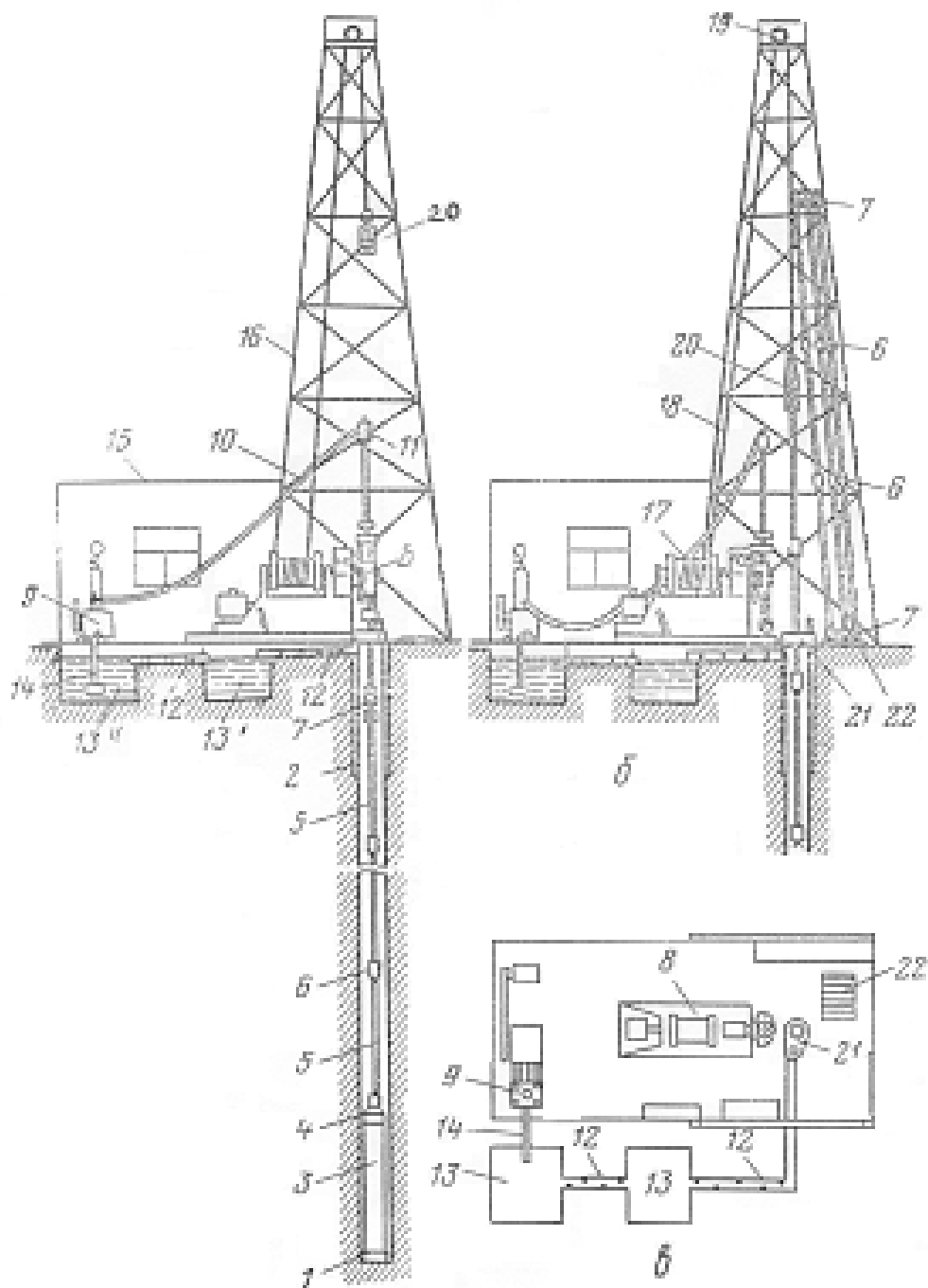


Рис. 8. Общая схема буровой установки для колонкового бурения:

*а* – при бурении; *б* – при подъеме; *в* – план буровой установки

1 – коронка; 2 – обсадная колонна; 3 – колонковая труба; 4 – переводник; 5 – бурильные трубы; 6 – муфта; 7 – замок (ниппель – муфта замка); 8 – буровой станок: станина, вращатель (8), лебедка (17), трансмиссия, двигатель; 9 – буровой насос; 10 – нагнетательный шланг; 11 – сальник-вертлюг; 12 – желоба; 13` - отстойник; 13`` - зумпф; 14 – всасывающий шланг с защитным кожухом («храпок»); 15 – буровое здание – укрытые («тепляк»); 16 – вышка; 18 – трос; 19 - кронблок; 20 – элеватор; 21 – трубоизворот; 22 – подсвечник, свечи – трехтрубные, длина 6 м х 3 = 18 м + муфты 2 шт. + муфта замка (сверху) + ниппель замка (снизу)



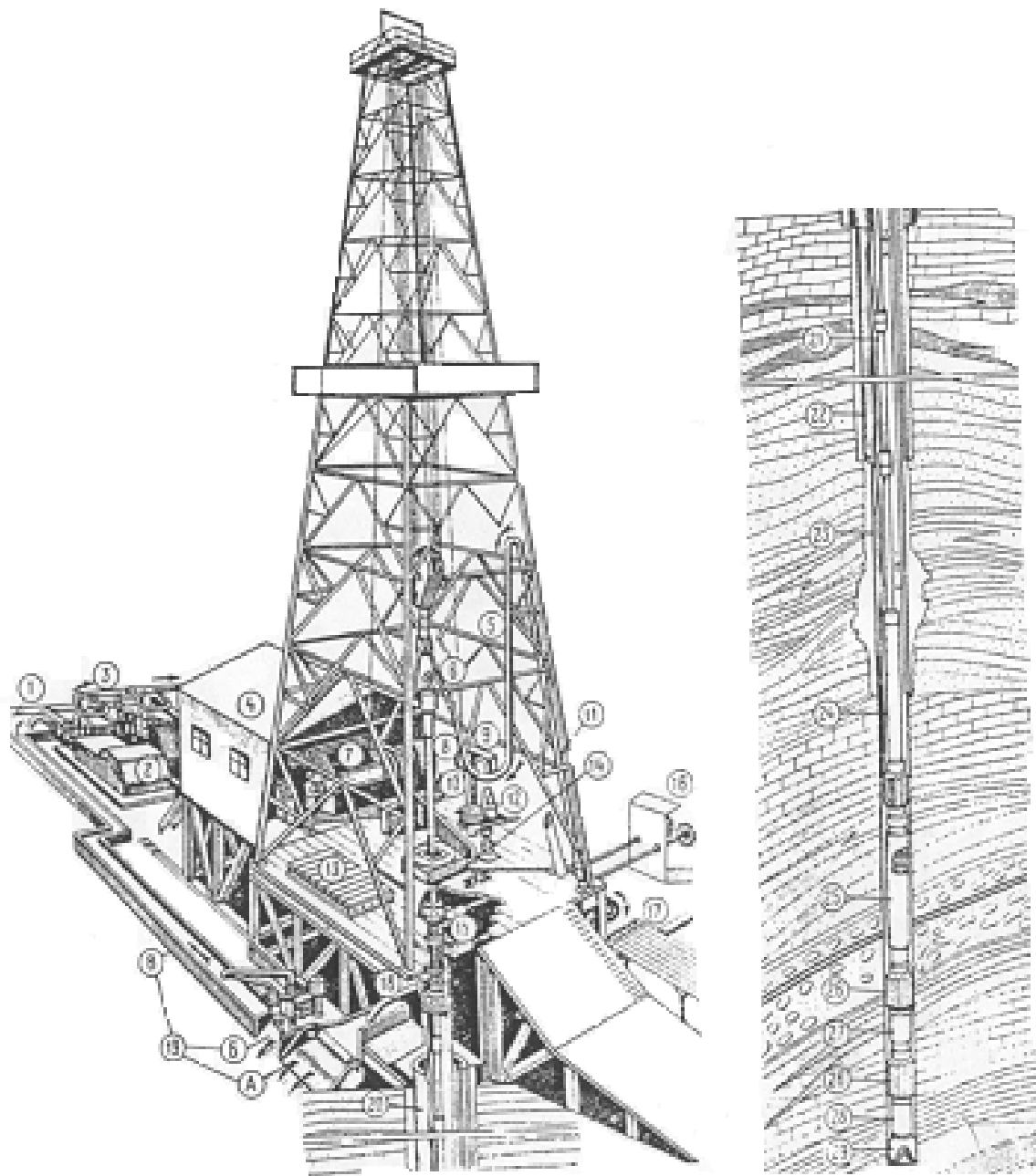


Рис. 9. Общий вид буровой установки глубокого вращательного бурения

1 - приемная емкость; 2 - буровые насосы; 3 - нагнетательная линия; 4 - силовой блок; 5 - буровой рукав; 6 - вертлюг; 7 - лебедка; 8 - ведущая труба; 9 - индикатор веса; 10 - машинные ключи; 11 - стояк; 12 - ключ АКБ; 13 - подсвечник; 14 - ротор; 15 - превентор; 16 - ручной привод превентора; 17 - трубный стеллаж; 18 - выход раствора в желоб; 19 - блок очистки раствора (А - вибросито, Б - гидроциклоны, В - желобная система); 20 - кондуктор; 21 - бурильная колонка; 22 - 1-я промежуточная колонка; 23 - 2-я промежуточная колонка; 24 - утяжеленные бурильные трубы; 25 - турбобур; 26 - калибратор; 27 - маховик; 28 - переводник; 29 - долото

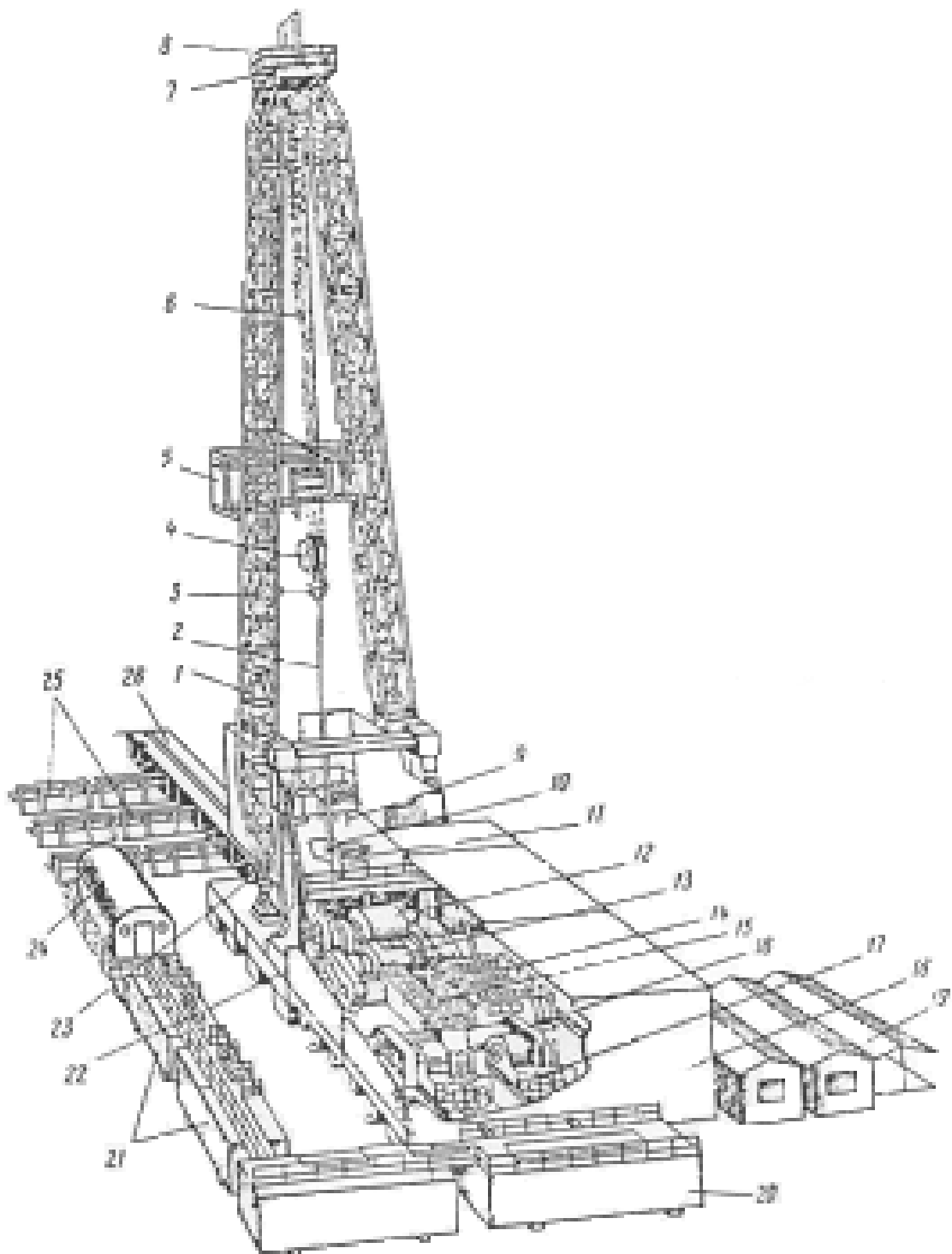


Рис. 10. Буровая установка для бурения скважин глубиной 2500 м:

1 – секция мачты; 2 – бурильная колонка; 3 – элеватор; 4 – талевый блок; 5 – полати; 6 – талевый канат; 7 – верхняя площадка; 8 – кронблок; 9 – подсвечник; 10 – ротор; 11 - вспомогательная лебедка; 12 – главная лебедка; 13 – коробка передач; 14 – двигатели; 15 – трансмиссия двигателей; 16 – трансмиссия бурового насоса; 17 – буровые насосы; 18 - укрытие приводного и насосного комплексов; 19 – бытовые помещения; 20, 21 – приемный и промежуточный блоки; 22, 23 – основание силового привода и подроторное пр-во; 24 – блок очистки раствора; 25 – стеллажи для труб; 26 - мостки

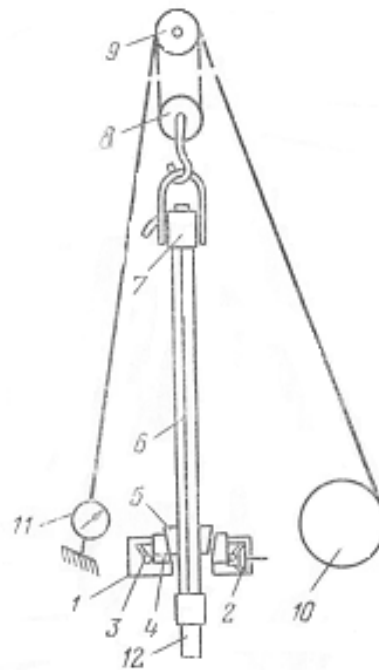


Рис. 11. Схема роторного вращателя и подачи бурового снаряда с лебедки:  
 1 – корпус ротора; 2, 3 – конические шестерни; 4 – стол ротора; 5 – вкладыш; 6 - ведущая труба; 7 – сальник; 8 – талевый блок; 9 – кронблок; 10 – лебедка; 11 – динамометр; 12 – буровая труба

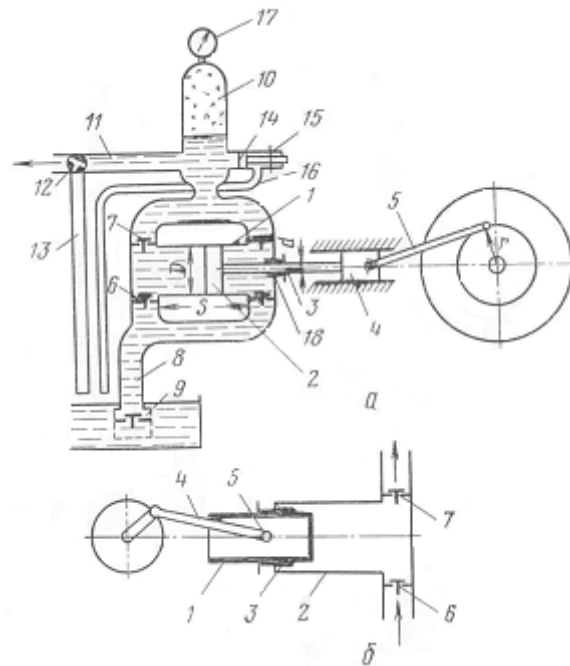


Рис. 12. Схемы буровых насосов  
*a* – поршневой насос: 1 – цилиндр; 2 – поршень; 3 – шток; 4 – крейцкопф; 5 – шатун; 6 – всасывающие клапаны; 7 – нагнетательные клапаны; 8 – всасывающий шланг; 9 – храпок с клапаном; 10 – воздушный колпак; 11 – нагнетательная магистраль; 12 – трехходовый кран; 13 – сливной шланг; 14 – предохранительный клапан; 15 – срезная шпилька клапана; 16 – отводной шланг; 17 – манометр; 18 – сальниковое уплотнение;  
*б* – плунжерный насос: 1 – плунжер; 2 – корпус; 3 – сальниковое уплотнение; 4 – шатун; 5 – палец; 6 – всасывающий клапан; 7 – нагнетательный клапан

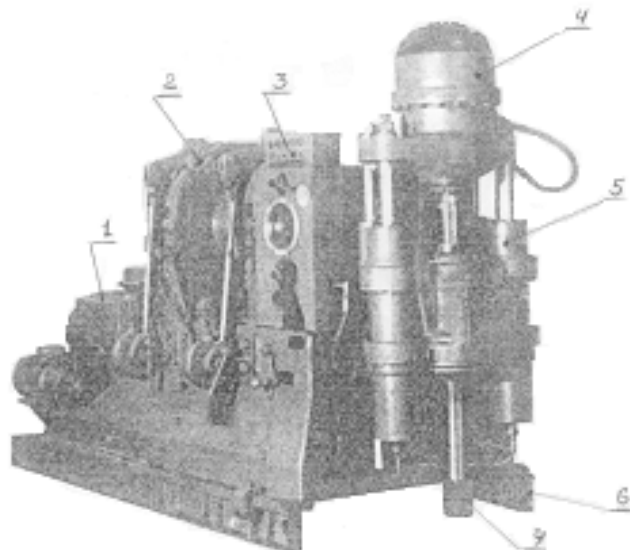


Рис. 13. Буровой станок ЗИФ-1200

1 – двигатель; 2 – лебедка; 3 – пульт управления; 4 – зажимной гидротпатрон; 5 - гидроцилиндр подачи шпинделя; 6 – станина; 7 - шпindelь

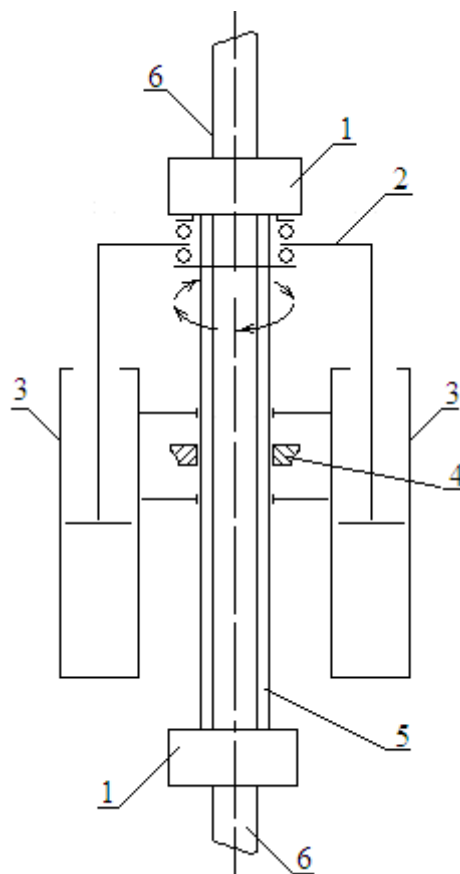


Рис. 14. Схема шпиндельного вращателя

1 – зажимной патрон; 2 – траверса; 3 – гидроцилиндр; 4 – коническая зубчатая передача; 5 – шпindelь; 6 – ведущая бурильная труба с сальником-вертлюгом на верхнем конце





Рис. 15. Буровая установка с подвижным вращателем  
(с гидроприводом вращателя)  
УРБ2А2



## Лекция 9

### ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ СКВАЖИН

Скважина, по мере увеличения ее глубины, становится сложным и затратным инженерным сооружением. А сложное инженерное сооружение строится по проекту и в процессе его строительства оформляется необходимая и достаточная документация не только для собственно стройки, но и для дальнейшей эксплуатации объекта, консервации и, в случае необходимости, его ликвидации. Документируются материало- и трудозатраты на строительство. Эти документы являются основанием для выплаты зарплат и стоимостной оценки конечного продукта - водозаборной, нефтяной или другого целевого назначения скважины. После чего начинается эксплуатационная история скважины, также документируемая и отслеживаемая вплоть до ее смерти - ликвидации. Существенная особенность горной выработки - буровой скважины в том, что после окончания ее сооружения (термин «строительство скважины» обычно подчеркивает значимость, в т.ч. стоимостную – капитальность этого сооружения) она может зачастую эксплуатироваться юридическими и физическими лицами, не имеющими отношения к геологии и горному делу и нефтедобыче. Это, прежде всего, касается скважин для водоснабжения и инженерных. Т.е. они становятся объектами «общегражданского» назначения. В этой сфере - проектирование, документирование строительства и эксплуатации скважин и решение связанных с этим правовых, сметно - финансовых вопросов, экологический и финансовый мониторинг эксплуатации недр - все это сфера будущего трудоустройства горных инженеров - «белых воротничков», клерков имеющих кругозор и квалификацию в перечисленных направлениях, а также знание иностранных языков для работы с инвесторами, все чаще появляющимися и уже закрепившимися на «водном, горном и нефтегазовом» рынках Беларуси. По инвентаризации времен бывшего СССР на территории РБ насчитывалось порядка 40 тыс. скважин (без учета нефтегазовых), а по последней инвентаризации в суверенной РБ «нашлось» немного более половины из них, в основном водозаборных. Видимо, вам будет над чем работать, особенно лучшей, более прекрасной и аккуратной половине из вас. Познакомимся с основными документами предшествующими и сопровождающими бурение скважины.

#### А. Исходные документы:

Согласно ТКП 17.04-21-2010 для сооружения скважин глубиной более 20 м необходим Проект. **Проект на бурение (строительство) скважины** – комплект документов содержащих текстовую, графическую и сметную часть. В текстовую часть входит общая и спецчасть. Спецчасть содержит техническую часть проекта – технический проект. Сметно-финансовая часть рассчитывается на основании технического проекта. Графической квинтэссенцией – «конспектом» технического проекта является **ГТН - геолого-технический наряд**. Данный вид работ - проектирование бурения скважин регламентируется (лицензируется) законодательством РБ. Основные требования к содер-

жанию Проекта приведены в названном выше ТКП. Основанием для разработки проекта является техническое или геологическое задание на проектирование и бурение скважины (скважин), либо имеющий юридическую силу двусторонний договор с юридическим или физическим лицом. Соответственно появляются «заказчик», «проектировщик», «исполнитель», которые вступают в правовые и финансовые отношения именуемые бизнесом. Чем сильнее капитализируется эта сфера, тем ощутимей в ней борьба интересов названных трех сторон и конкуренция внутри двух последних из них. Исполнитель - частный буровой подрядчик старается обойтись своими силами, без Проектировщика, а Проектировщик - получить лицензию, как на проектирование, так и на собственно бурение (эксплуатацию бурового оборудования) и привлечь к реализации проекта исполнителя на договорной основе по минимальным расценкам. Услуги компетентного специалиста в области бурения – «технаря» по диплому, знающего последние редакции Кодекса о Недрах, Водного Кодекса, подзаконных актов и ТКП могут пригодиться любой из названных сторон.

В горном деле, при открытых горных работах проектирование буровзрывных работ осуществляется в рамках **планов горных работ** (планов буровзрывных работ), на подземных работах они регламентируются паспортом горной выработки.

При инженерно-геологических изысканиях порядок бурения скважин и сопутствующих ему работ устанавливается **Программой инженерно-геологических изысканий** (предписанием).

Т.е. при бурении большого количества «однотипных» неглубоких скважин основой проектного документа становится не конструкция и технология бурения отдельной скважины, а их количество, взаиморасположение и другие аспекты «завязанные» на материально-техническое обеспечение и «осмечивание» этих работ. Это хорошо видно на примере бурения инженерных (инженерно-строительных) скважин под свайные основания зданий и сооружений.

**Б.** До начала бурения:

1. При вынесении точки заложения устья скважины в натуру, т.е. до начала бурения, составляют **акт о заложении скважины**. Это документ согласующий интересы государства, землепользователя и пользователя недр. Скважина «рождается» на земле в виде колышка - репера, с участием, в зависимости от требований к точности топопривязки, геодезиста-маркшейдера.

2. До начала производства буровых работ документально подтверждается техническая готовность БУ к их выполнению **Актом о готовности БУ к производству работ**. Для самоходного мобильного бурового оборудования акт составляется перед выездом на полевые работы (на объект, группу объектов). Для БУ крупноблочного монтажа (глубокого бурения) после ее монтажа на точке бурения. Документ – аналог техосмотра обычных и специальных транспортных средств.

**В.** В процессе бурения оформляются:

**2. Буровой журнал** - подобно судну, отправившемуся в плавание, буровая установка с командой - буровой бригадой сопровождает свое плавание в недра земли ведением вахтенного бурового журнала, где содержится почасовая запись всех видов работ и событий, произошедших на земле и под землей. Наиболее значимые, в техническом и стоимостном выражении, события оформляются отдельными документами - актами. Момент «отплытия в глубь Земли» регистрируется записью в буровом журнале или актом на забурку скважины (глубокой скважины).

Для геологоразведочных скважин обязательным документом является также **геологический журнал**, который ведет техник или инженер-геолог, в обязанности геолога также входит документирование керна. Знание горным инженером-буровиком минералогии, литологии и петрографии может помочь решать эти задачи на скважинах другого целевого назначения записями в буровом журнале о составе проходимых скважиной пород.

**3. Акты контрольных замеров глубины скважины.** В процессе бурения ствола скважины каждой буровой сменой (на отдаленных точках буровики работают «вахтовым методом», когда буровая бригада делится на «вахты», заступающие на вахту на буровой продолжительностью около 10 суток, в свою очередь «вахта» делится на смены, продолжительностью от 8 до 12 часов, под землей – 6 часов) отмечается количество пробуренных за смену метров (проходка) и текущая глубина забоя (по стволу) от реперной точки на устье (от стола ротора, верхнего зажимного патрона при шпиндельном бурении и др.). Однако и человеку и, иногда, приборам свойственно допускать неточности. Чтобы избежать этого, выполняются контрольные замеры глубины забоя высокоточным промером длины спускаемого в скважину инструмента (бурильной колонны). Глубина замеряется и при выполнении ГИС. При больших глубинах на точность замеров влияет вытяжка (растяжение), под собственным весом, измерительного инструмента (каротажного кабеля, бурильных труб). Для определения точного местоположения забоя и всех проходимых им по геологическому разрезу, представляющих практический интерес, объектов контроль необходим.

**4. Акты на скрытые работы.** На работы, результат которых нельзя увидеть и потрогать, т.к. они выполняются в стволе скважины. Они могут быть плановыми (расширение-разбуривание ствола скважины, шаблонирование перед применением специальных КНБК, постановка цементных мостов и т.п.), часто связаны с осложнениями (ликвидация прихвата инструмента, поглощений промывочной жидкости, чистка забоя от посторонних предметов и др.) и аварийными ситуациями (обрыв инструмента, смятие обсадной колонны и др.). Если эти работы «выливаются» из человеко/часов в бригадо-смены, то записи о них в буровом журнале становится недостаточно (см. п.2). Они актируются и заказчик работ, подозревающий необоснованное завышение стоимости строительства скважины, может быть, хотя бы, таким образом, избавлен от подозрений. Никакой коррупции, можете устроить перекрестный допрос для «подписантов» и всей бригады. Стоимость погонного метра бурения – основного экономического показателя в буровом деле, в ослож-



ненных горно-геологических условиях возрастает и не может быть обоснована только табличными категориями буримости пород.

**5. Акты на спуск и цементирование каждой обсадной колонны.** Это наиболее материалоемкий и трудозатратный вид скрытых работ и акты на их производство должны содержать всю информацию для дальнейшей «жизни» скважины, особенно для ее лечения - подземных ремонтов, связанных с ликвидацией негерметичности крепи. Они потребуются Исполнителю и Проектировщику, если Заказчик в судебном порядке потребует вернуть свои деньги, уплаченные за плохо выполненную работу – воду, не отвечающую по качеству Санитарным нормам и правилам.

**6. Акт на инклинометрию скважины.**

**7. Отчет о геофизических исследованиях (ГИС) с приложением каротажных материалов.**

Стоимость выполнения стандартного комплекса ГИС специализированной геофизической службой (предприятием, фирмой) сопоставима со стоимостью бурения небольшой скважины.

При геологоразведочном бурении эти затраты в настоящее время на себя берет государство или иностранный инвестор (Петриковская и Любанская залежи калийных и калийно-магниевых солей). Буровые предприятия смешанных форм собственности самостоятельно, по потребности и по возможности, решают вопросы ГИС сопровождения бурения. При этом комплекс ГИС на водных скважинах может сокращаться до двух-трех методов. В них обычно входят резистивиметрия (каротажи сопротивлений), ГК, СП. Если и на них денег не хватает, то можно ограничиться инклинометрией, которая также входит в стандартный комплекс ГИС. Без инклинометрии вы не узнаете точную глубину вашей скважины. Почему? Можно прочитать в учебном пособии «Промысловая геофизика». А лучше вспомнить, что контрольным замером глубины (п. 3) вы замерили протяженность ствола скважины - «глубину по стволу». У наклонной в одной плоскости скважины – это гипотенуза, а истинная глубина скважины – по вертикали, это катет, образующий с гипотенузой, проведенной наклонно из точки - устья скважины, зенитный угол. При превышении интенсивности изменения зенитного (и азимутального) углов по стволу скважины определенных пороговых значений, обсадную колонну «заклинит» при спуске в скважину: она «не впишется» в повороты «кривой гипотенузы». Инклинометрия - это рекогносцировка «проходимости» ствола скважины и контроль его пространственного положения на соответствие проекту.

**8. Отчет о гидрогеологических исследованиях.** Для скважин «на воду» это «путевка в жизнь», т.е. документ, подтверждающий достижение цели – хорошей питьевой воды и в требуемом количестве. Исследованы могут быть несколько вскрытых объектов. Выбирается для эксплуатации, согласно нормативным требованиям, один - в котором вода своего, индивидуального состава. Смешивать в скважине воды разного гидрохимического состава из разных, экранированных друг от друга, водоносных горизонтов не допускается. Ствол скважины не должен «шунтировать» - перепускать воду из одно-

го природного резервуара в другой, обычно это плохо заканчивается. Отчет о гидрогеологических исследованиях - это отчет перед Заказчиком, и в случае, упомянутом в п.5 перед компетентными органами (экспертизой). Для разведочных скважин «не на воду», вода – это попутно вскрытое общераспространенное (на территории РБ, но не Арабских эмиратов) полезное ископаемое, которое также подлежит оценке а, в случае проектирования горных работ, может стать фактором, существенно усложняющим их ведение. Для инженерно-геологических скважин вода – фактор, подлежащий оценке с точки зрения надежности и долговечности оснований и фундаментов проектируемых зданий и сооружений.

9. **Акт на оборудование скважины ВСО и обвязку устья.** Составляется в том случае, если Исполнитель сдает скважину «под ключ», т.е. для водной скважины – это «повернул ключ (нажал кнопку) - пошла вода». Внутри-скважинное оборудование (ВСО) проще спустить, пока БУ находится на объекте. А что касается обустройства устья, которое зачастую включает, кроме монтажа оголовка скважины и трубопроводов, строительство павильона-укрытия и подъездных путей, подвода электроэнергии и т.п., то эти работы могут оформляться согласно договорам с другими исполнителями (строителями, энергетиками), соисполнителями в т.ч. «свободными художниками», имеющими гослицензии на данный вид деятельности. Буровикам важно получить подписанный Заказчиком **акт на передачу скважины (объекта) в эксплуатацию**, где их часть работы будет принята без замечаний или с такими (после консультаций Заказчика с выпускником кафедры «Горные работы» БНТУ). В частности следует обратить внимание на «перенос» марки (репера, от которого будет замеряться «текущий забой» в процессе долгой «жизни» скважины) с «убранного стола ротора» на стационарный элемент устьевого обвязки скв. По устранению замечаний все идет в банк.

10. Если скважина не готова к вводу в эксплуатацию по независящим от Исполнителя причинам (например, тока нет), но он оговоренный объем работ выполнил (не выполнил) и т.д., если разведочная скважина выполнила свое целевое назначение, но может быть использована в общегражданских целях (передана для водозабора), то их консервируют до «лучших времен» с составлением **акта на консервацию скважины**. В безнадежных случаях скважины ликвидируют с составлением **акта на ликвидацию скважины**. При значительных стоимостных показателях обустройства (п. 9), консервации и ликвидации скважины (группы скважин) составляются планы или проекты на выполнение этих работ в соответствии с действующими нормативными документами, проекты «осмечиваются» и, при наличии средств, реализуются.

Образцы основных видов перечисленных документов содержатся в приложениях к упомянутому выше ТКП 17.04.

Кроме того, достаточно часто возникает целесообразность составления **акта об окончании скважины бурением**, что обусловлено значимостью момента достижения стволом скважины проектной глубинной и координатной отметки. Т.е. документа, подтверждающего, что буровики свою основную задачу выполнили. Особенно, если горно-геологические условия слож-

ные и открытый ствол может долго не простоять в ожидании доставки на скважину тяжелой обсадной эксплуатационной колонны, трубы для которой заранее в полном объеме не завезли. Корабль приплыл в пункт назначения, но стоит на рейде в ожидании швартовки и дальнейших указаний владельца.

При чрезвычайных происшествиях (например, упала вышка, не все увернулись) составляются **акт расследования ЧП** (никто серьезно не пострадал), **акт расследования несчастного случая** (кто-то пострадал), а если со смертельным исходом и более того, несколько жертв - это указывается в названии акта и расследуется особо. Для того, чтобы снизить вероятность ЧП на БУ положено иметь **журнал инструктажа по технике безопасности**, в котором отмечают под роспись слушателей все виды проведенных инструктажей и тренингов по преодолению чрезвычайных ситуаций. С этим особенно строго на морских нефтедобывающих буровых платформах. На БУ поменьше и попроще ограничиваются записями (росписями) в буровом журнале и в ведомостях инструктажа по ТБ разного уровня.

Все перечисленные документы помещаются в папку – **ДЕЛО СКВАЖИНЫ**. Дела геологоразведочных скважин передаются и хранятся в Государственном геологическом фонде (Геолфонд).

Дела водозаборных скважин передаются Заказчику, на эксплуатационные скважины составляется **ПАСПОРТ** (Исполнителем работ - буровой компанией) в трех экз., из которых один передается заказчику, один (с отметкой о нахождении дела скважины, т.е. «координатами» владельца) – в Геолфонд, один остается у Исполнителя. В электронном виде проект и паспорт обычно остаются и у проектировщика, который на стадии бурения курирует, в той или иной степени, реализацию своего проекта. Геолфонд ведет учет всех скважин глубиной более 20 м для геологического изучения недр и эксплуатации подземных вод, сооруженных по проектам, согласованным и утвержденным в «установленном порядке». Порядок согласований изложен в ТКП, но, это надо особо отметить, подвергается систематической ревизии, что требует от горного инженера-буровика быть в курсе последних изменений и редакций нормативных документов в этой сфере, начиная от Кодекса о недрах и заканчивая отраслевыми ТУ и регламентами и ТУ отдельных предприятий, с которыми или на которые он будет работать. Рассмотренный перечень документов является типовым для «серьезных» скважин глубиной до сотен и тысяч метров. При бурении «мелких» скважин по сетке, обычно актируются объемы работ, куда бурение скважин входит одним из составляющих выполненных работ.

## Лекция 10

### ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И БУРОВЫЕ РАБОТЫ

**Геофизика** - наука о естественных и искусственных физических полях связанных с Землей, как астрономическим телом и с геологической средой, как источником, так и объектом воздействия этих полей. Основное практическое назначение геофизических дисциплин в горном деле - это дистанционное изучение геологической среды на предмет выявления полезных ископаемых и оценки ее петрофизических характеристик – т.е. типов и видов горных пород, минералов, оценки их физических и физико-механических свойств. Геофизическими методами изучают геологические макро и локальные структуры. Конечная задача – использование этой среды для получения горно-химического сырья, продуктов его переработки, в том числе непосредственно в недрах, строительства и эксплуатации инженерных сооружений, достижения других материальных благ, связанных с использованием недр. Естественно также, что бурение скважин - как основной метод дистанционного получения прямой информации о геологическом объекте в точке или ряде точек, расположенных на траектории ствола скважины, конечной из которых является забой скважины, этот метод в процессе развития геологической и горной науки теснейшим образом слился с геофизическими исследованиями. Ранее вы имели возможность узнать об этом симбиозе в теме «стадийность изучения недр»: в новых геологических регионах исследования начинаются с площадных геофизических исследований - «полевой геофизики», т.е. методов исследования геологической среды с поверхности земли или из атмосферы (аэрометоды) и космоса. На этой стадии решаются задачи регионального геологического картирования тесно увязанного с картированием топо-геодезическим. Буровые работы носят вспомогательный характер обеспечения этих региональных геофизических исследований, направленных на решение геологических задач прямой информацией о горных породах и геологических структурах, подтверждающей или корректирующей и методы интерпретации и результаты геофизических дистанционных «непрямых методов» изучения геосреды. По мере выявления и локализации перспективных геологических структур и минеральных образований, в процессе исследования недр буровые скважины и, затем, горные выработки выходят на первое место, а уже геофизика корректирует результаты и направление сначала поисково-оценочных, затем разведочно-эксплуатационных, а затем и эксплуатационных горно-буровых работ. На этом этапе появляются «Промысловая геофизика» (для нефтегазопромыслов), шахтная или рудничная геофизика, скважинная геофизика и т.п. Теоретическое и методологическое отличие этих «геофизик» от «Полевой геофизики» в том, что в ней, как упоминалось, изучается нижнее полупространство - т.е. геологическая среда с поверхности, а промысловые, скважинные и шахтные методы - это, прежде всего, погруженные дистанционные зонды, или шахтные приборы для изучения геологической среды окружающей точку наблюдения, т.е. «изнутри»; или среды нахо-

дящейся между точками наблюдения (скважинные и шахтные методы «просвечивания» горных пород в межскважинном пространстве или между горными выработками). Для территории РБ региональные геофизические исследования - это пройденный этап. Поэтому тем из вас, кто будет работать на этой территории, следует знакомиться с курсом «Полевая геофизика» в объеме: детальная сейсморазведка для геометризации локальных структур и залежей, а материалы гравии- и магниторазведки только научиться читать и пользоваться ими. Электроразведка пригодится тем, кто будет «связан» с водой и со строительством. В гидрогеологии и инженерной геологии это – рабочий инструмент.

Для тех же, кто будет связан с бурением скважин, необходимо знать в целом о диапазоне методов так называемой «буровой геофизики», т.е. геофизических, физических и просто способов и операций, которые неизменно сопровождают процесс бурения и, чем глубже скважина, тем неизменной – сопровождение.

### **Методы буровой геофизики**

1. Геофизические исследования скважин (ГИС). Профессиональный синоним для ГИС – «каротаж». Отсюда термины: «каротажная станция, к.. отряд, к.. прибор, к.. диаграмма («каротажка») и т.п.

Наиболее широко применяемые в настоящее время виды каротажей в зависимости от физических полей или свойств горных пород, которые они используют:

- электрический;
- радиоактивный;
- акустический;
- механический;
- магнитный;
- геохимический;
- термо.

#### 1. Операции в скважинах:

##### 2.1. Замеры:

- диаметра ствола скважины (кавернометрия) и конфигурации его поперечных сечений (профилеметрия);
- положения ствола скважины в пространстве (инклинометрия);
- качества цементирования обсадных колонн и текущего технического состояния крепи (т.е. самих обсадных труб и цементного кольца между обсадной колонной и стенками скважины) по мере увеличения сроков бурения и, затем, эксплуатации скважины.

##### 2.2. Перфорация и торпедирование скважин.

2.3. Отбор проб жидкости и газа пробоотборниками, образцов горных пород – грунтоносами на каротажном кабеле.

2.4. Геофизическое обеспечение работ по ликвидации осложнений и аварий в скважинах.

3. Скважинная геофизика. Точнее «межскважинная геофизика», в которой «просвечивается» межскважинное пространство и выявляются неодно-

родности и аномалии электро-, магнито-, грави-, сейсмо- и др. видами исследований.

Из приведенного перечня видно, что группировка его под названием «геофизика» достаточно условна, поскольку, например, геохимический каротаж - это, как бы, больше химия, чем физика; или перфорация - это, в большей степени, специальный вид взрывных работ в скважинах, чем изучение физических полей. Тем не менее, объединяющее все это звено есть - все перечисленные виды исследований и работ выполняются каротажными отрядами с использованием каротажного оборудования и они, как правило, комплексуются, например, перфорации как правило предшествует «привязка интервала перфорации» магнитным локатором муфт, а после прострела колонны осуществляют термоконтроль результата; промахнуться, когда оператор находится на расстоянии несколько километров от ружья (умулятивного или пулевого перфоратора) и цели (нефтегазозоносного объекта) толщиной, иногда до метра и менее, без «прицеливания» и контроля мишени просто, а цена промаха - очень высока. Во многом, поэтому, перфорацией занимается специализированное подразделение – перфорационный отряд, в составе которого есть и квалифицированные взрывники и геофизики.

Методы буровой геофизики по п.п. 1 и 2 применительно к работам на нефть и газ называют «Промысловой геофизикой». Применительно к другим видам полезных ископаемых осуществляют комплексирование геофизических площадных и каротажных методов наиболее «чувствительных» к данному типу минерального сырья и его литолого-генетическому «происхождению» и «окружению» т.е. к маркирующим признакам вмещающих и сопутствующих пород и минералов. Поэтому есть соответствующие направления «рудной» и «нерудной» геофизики, комплексов ГИС на металлические и неметаллические п.и. и т.д. Для Беларуси, как можно догадаться, актуальны «неметаллические» калийные и другие минеральные соли, пески глины и т.п., ориентиры на нефть и газ тоже сохраняются. Поэтому в перечень литературы включены наиболее компактные и подкрепленные практическими примерами учебники по этим вопросам. ГИС, выполняемые сторонней специализированной организацией (фирмой) каротажной станцией и персоналом фирмы на договорной основе - недешевое удовольствие. Тем из вас, кто будет работать в небольших частных компаниях, с парком оборудования в несколько единиц буровых установок для бурения скважин на глубину первые десятки и сотни метров, лучше самостоятельно освоить методику простейших «не геофизических» а, так называемых «операторских» исследований в скважинах:

А) замер уровня жидкости (воды) в скважине уровнемером типа «хлопушка» или электроуровнемером;

Б) отбор проб воды и (или) грунта желонкой, пробоотборниками простейших конструкций (например, конструкции Симонова);

В) отбор проб грунта из стенок скважины грунтоносами простых конструкций (например, скребкового типа);

Г) термометрия в скв. «ленивыми» т.е. инерционными термометрами.

Это (п.п. А,Б) стандартные замеры в «водных», инженерно- геологических, да и всех других скважинах, в которые стала поступать пластовая вода, или, наоборот, вскрытый интервал стал поглощать. Некоторые наши выпускники – буровики у «частников» освоили и сами выполняют электрокаротаж и интерпретацию его результатов для уточнения интервалов посадки фильтра в водозаборных скважинах. Может, перейдут в геофизику? Это интеллигентная работа.

### **Литература:**

1. Тархов А.Г., Бондаренко В.М., Никитин А.А. Комплексование геофизических методов. Учебник для вузов. М. Недра, 1982, 295 с.
2. Геофизические методы поисков и разведки неметаллических полезных ископаемых. Под ред. П.В. Вишневого, Г.С. Вахромеева, И.П. Шаманского. – М.: Недра, 1984, 223 с.
3. Полевая геофизика. Уч. пособие, Бабец М.А., БНТУ, 2011.
4. Промысловая геофизика. Уч. пособие, Плакс Д П., Бабец М.А., БНТУ, 2014.
5. Васильевский В.Н., Петров А.И. Оператор по исследованию скважин. Учебник для рабочих,- М.:Недра, 1983.- 310с.
6. Справочник по шахтной геофизике. Под ред. Бродового, в двух томах.

### **Научно-популярная литература:**

1. Е.М. Филлипов. Популярно о геофизике. Киев: Наук. Думка, 1989.- 168 с.
2. Г.С. Франтов, Ю.С. Глебовский. Занимательная геофизика.- М.: Недра, 1987, - 128 с.
3. В.П. Фишман, А.А. Урсов. Приборы смотрят сквозь Землю. М.: Недра, 1987.-173с.

На практических занятиях – уч. Фильм «ГИС», ознакомление с приборами и каротажными материалами.

## **Лекция 11 ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ СКВАЖИН И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ БУРЕНИЯ**

К конструкции скважины относят пространственные элементы ее ствола и траектории (диаметры по долоту, глубинные отметки «перехода» диаметров, азимутальные и зенитные углы на разных участках) и основные элементы крепи (диаметры и толщины стенок обсадных колонн, точные глубинные, по стволу скважины, отметки установки их башмаков и элементов оснастки, интервалы затрубной цементации и т.д.). Глубокие многоколонные эксплуатационные нефтяные скважины могут иметь один только забой: проектный, бурением, искусственный, текущий. А если скважина глубокая, многоствольная и многоколонная, то даже описание и вычерчивание схемы ее конструкции требует точности и внимания. Еще более они необходимы при проектировании скважины, поскольку именно эти элементы – проводка скважины по заданной траектории и ее крепление металлом и цементом, являются основной стоимостной составляющей будущей скважины, да и сам проект становится не типовым на стандартное сооружение - горную выработку, а творческой инженерной задачей с элементами искусства. Конструкция скважины определяется базовыми входными условиями:

1. Целевым назначением скважины, из которых (целевых назначений, рассмотренных в лекции 3) самым важным посылом является долговременность этого инженерного сооружения. Если скважина зондировочная и ее цель, например, отбор пробы на геохимический анализ. То ее конструкция – это открытый ствол минимального диаметра для прохождения пробоотборника, а срок ее жизни - от окончания бурения до извлечения из нее заполненного пробоотборника. Если скважина эксплуатационная - то строят на годы, десятилетия, века; металл и цемент закладывают с запасом. Известно, что скупой платит дважды. Целевое назначение кроме прочности крепи определяет конечный диаметр бурения ствола:

1.1. Для колонковых скважин, буримых с целью изучения недр и опробования полезного ископаемого конечный диаметр бурения диктуют условия достаточности и информативности (диаметра) керна, «проходимости» как отмечалось в п. 1 грунтоносков, пробоотборников и каротажных зондов.

1.2. Для гидрогеологических скважин - основной вид опробования ПИ - откачки, диаметр бурения должен обеспечить в неустойчивых породах, установку в скважине временной крепи и фильтра и спуск в них водоподъемника для пробных откачек. Диаметр водоподъемника определяет проходной диаметр обсадной колонны, под наружный диаметр колонны, по выступающим муфтовым соединениям подбирают, с запасом, чтоб не прихватило в открытом стволе, долото.

1.3. В эксплуатационных скважинах все «идет» от проходного диаметра эксплуатационной колонны – заказчик, а это водопотребитель или нефтеразработчик, они «заказывают музыку» сколько надо (в сутки, в месяц) воды или нефти. Проектировщик подгоняет «трубопровод» - обсадную колонну под насос (артезианский, нефтяной) по его характеристикам: производительность, напор и, наконец, наружный диаметр. Надо чтобы он мог разместиться в эксплуатационной колонне с нормальным технологическим зазором и по



насосно-компрессорным трубам лифтировать пластовый продукт на поверхность. Тут правда есть большой нюанс - заказчик-олигарх может захотеть столько, сколько пласт ему не даст. Тогда проектировщик проектирует разведочно-эксплуатационную скважину, чтобы предварительно определить потенциал объекта и привести в своем проекте к консенсусу природу и человека. Лучше, если вы, умея пользоваться геологическими и гидрогеологическими картами и материалами, полученными при работах по п. 1.2., из них узнаете о потенциале всех водоносных пластов под коттеджем заказчика и предложите ему альтернативные варианты, в зависимости от его финансовых возможностей. Т.е. проектирование скважины - это креативный и политико-экономический процесс, в ряде случаев.

## 2. Горно- геологическими условиями.

Количество зон (интервалов горных пород) выше целевого объекта (проектного забоя) несовместимых по условиям бурения определяют, сколько промежуточных – технических обсадных колонн придется еще спустить и зацементировать. Чем больше у вас исходной горно-геологической информации по опорным скважинам, тем эффективней вы справитесь с этой задачей исходя из принципа необходимости и достаточности. Принцип построения «телескопа обсадных труб» - начиная от забоя и последней, спущенной на него (чаще эксплуатационной), колонны: все предыдущие (если двигаться вверх) колонны должны пропускать через себя долото, которым вы будете бурить под эту последующую, спускаемую на большую глубину, но меньшего диаметра, колонну. Когда проектировщик нарисует этот «телескоп», буровик начнет его сооружать, только глядя сверху в самый большой раструб и выдвигая трубки все меньшего и меньшего диаметра вниз. Т.е. буровик начнет от устья скважины и закончит ее проектным забоем бурением, а после спуска и цементирования эксплуатационной колонны – искусственным (цементным) забоем в колонне, если иное не предусмотрено по условию вскрытия эксплуатационного объекта. Уменьшить металлоемкость конструкции крепи при сохранении ее эксплуатационных характеристик в конкретных горно-геологических условиях - экономическая сверхзадача бурения и «бурового бизнеса».

## 3. Условия вскрытия и обустройства эксплуатационного объекта.

Этот фактор, прежде всего, относится к п. 1.3, так как он направлен на достижение максимальной производительности эксплуатационного объекта – дебита воды, нефти, газа, выхода полезного ископаемого (объема извлечения полезного ископаемого) из (геотехнологической) скважины. Практикой доказано, что технология первичного и вторичного вскрытия продуктивных флюидосодержащих пластов, а также конструкция забойной – водо- или нефтегазоприемной части ствола скважины существенно влияют на получаемые дебиты. Настолько существенно, что под реализацию этих технологий проектируют и конструкцию скв. Например, эксплуатационные скважины с одним или несколькими горизонтальными окончаниями в продуктивном пласте оборудованными фильтрами. На месторождениях, где эффективность этих

технологий определена в стоимостном выражении, они предлагаются проектировщиками с учетом общей стратегии обработки залежи, а заказчик, исходя из экономических посылов и возможных рисков, визирует их для исполнителя работ - бурового подрядчика. В скв. по п.п. 1.1 и 1.2 основное условие вскрытия объекта – максимум геологической, гидрогеологической и геофизической информации с минимальными затратами. При соблюдении этого условия появляются технологии, например, «опережающего опробования пластов», когда пробную откачку выполняют через бурильные трубы после гидровыва в водоносный горизонт съемного фильтра, технология схожая с широко используемыми в нефтяном бурении технологиями испытания пластов пластоиспытателями, спускаемыми в скважины на бурильных трубах.

П.п. 1–3 определяют основные пространственные параметры конструкции скважины. Затем прочностными расчетами уточняют необходимую **толщину стенок обсадных колонн** (при известных физико-механических характеристиках материалов крепи) для каждого из интервалов геологического разреза проходимых стволом скв., существенно отличающихся по проявлениям горного и пластового давлений, условиям проводки скв. и техногенных нагрузок в процессе как проходки скважины, так и ее последующей эксплуатации. В конечном счете «выходят» на **материалоемкость крепи** (количество обсадных труб, в тоннах металла по маркам стали, - металлоемкость и количество тампонажного цемента для цементирования обсадных колонн), что является одними из основных статей затрат на сооружение (строительство) скважины и исходными количественными параметрами технической части проекта бурения (строительства) скважины для выполнения сметно-финансовых расчетов.

## **II. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОЕКТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ**

Как отмечалось в п.1, функциональное (целевое) назначение скв. определяет конечный диаметр ее бурения и, зачастую, **протяженность ее ствола**. Целевое назначение скважины, в смысле достижения геологического объекта, «на который» она сооружается (четвертичные песчано-гравийные отложения, пласт калийных солей, нефтегазоносный горизонт, и т.д.) однозначно определяет **проектную глубину скважины**. Проектная глубина и конечный диаметр бурения, с учетом выполнения условия качественного вскрытия геологического объекта и его изучения (отбора керна, пробных откачек и т.д.) определяют выбор **типа буровой установки** для реализации проекта. Полезная **мощность БУ** должна обеспечивать достижение проектной глубины проектным диаметром с выполнением условия обеспечения максимально необходимой **грузоподъемности («нагрузки на крюке»)** для спуска максимальных по массе обсадных колонн (секций обсадных колонн). Синоним последнего термина, обязанного своим возникновением «вековому господству» БУ с палиспастной (тросовой) системой вертикального перемещения бурильных и обсадных колонн (типовой пример – это БУ вращательного роторного способа бурения) применительно к БУ с подвижным вращателем является параметр - **усилие механизма подачи вращателя БУ «вверх» и «вниз»**. Когда БУ глубокого бурения имеет подвижный вращатель и буровую лебедь-

ку с палиспастной системой для СПО, то в ее техпараметрах приводятся и «нагрузка на крюке» и усилия механизма подачи вращателя «вверх-вниз», то же на БУ колонкового бурения со станками шпиндельного типа, например ЗИФ и СКБ. Изложенное выше в разделе II относится, прежде всего, к БУ наиболее широко применяемого вращательного способа бурения с промывкой и продувкой. Поэтому в их дополнительные техпараметры входят агрегаты (насосы, компрессора) в комплектации БУ в полном объеме обеспечивающие процесс промывки (продувки) в стандартных условиях. Если проект предусматривает применение иных способов бурения (ударно-канатное, вибрационное, огнеструйное и т.д.) предполагающих применение БУ принципиально отличных по конструкции от БУ вращательного бурения, то глубина бурения, обеспечиваемая ими в определенных геолого-технических условиях, является определяющим проектным параметром. Нередко при проектировании приходится решать обратную задачу - можно ли имеющимся в наличии буровым оборудованием пробурить нужную скважину и как это сделать качественно и с минимальными затратами. В этом случае не БУ подбирают под проект, а нередко под парк имеющихся БУ формируют «портфель заказов» и сферу деятельности. Например, самоходные станки СБШ изначально специально спроектированные для бурения взрывных скважин на карьерах (глубиной до 30 м) в дальнейшем достаточно успешно применили для бурения геотехнологических скважин. Или для опытных работ на калийно-магниевых солях Любанской залежи в РБ установку роторного бурения БА-15 (проектная глубина бурения скважин на воду до - 600м, нагрузка на крюке - 20т) успешно использовали для бурения до 950м со спуском на эту глубину обсадной колонны нефтяного сортамента Д146. А для проходки направленного наклонного ствола скважины с этой БУ применили «нефтяной» способ бурения погружным винтовым забойным двигателем. Для его привода «подогнали» цементировочный агрегат ЦА-320, который обеспечил необходимую для эффективной работы погружного двигателя подачу промывочной жидкости, «родной насос» установки «не тянул». Таким образом, имеющийся специализированный буровой агрегат БА-15, предназначенный для бурения скважин на воду, агрегировали с ЦА-320 для решения нестандартной, «штучной» инженерной задачи. Задачу решили. Но, конечно, лучше, если буровыми каретками и перфораторами будут буриться шпурсы (согласно паспортам забоев горных выработок), СБШ - взрывные скважины (согласно планам взрывных работ), БА-15 – скв. на воду (по проектам водозаборных скважин), а агрегатами А-50, предназначенными для подземных ремонтов и обслуживания нефтедобывающих скважин (согласно планов подземных ремонтов), не будут бурить под сваи на стройплощадках, а айфонами и планшетниками не забивать гвозди. Проектирование режимов бурения и что такое **технологический режим бурения** рассмотрим в лекции 12.

На практических занятиях изучение содержания геологических и технических заданий, предписаний, паспортов забоев, планов работ и геолого-технических нарядов регламентирующих бурение скважин, проектов на бурение и на строительство скважин различного целевого назначения.

## Лекция 12

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА БУРЕНИЯ СКВАЖИНЫ

В зависимости от целевого назначения скв. в полном цикле ее сооружения будут преобладать те или иные операции. Основной, определяющий состав работ, фактор – глубина скв. Бурение шпуров и взрывных скважин – это поточный процесс более чем на 90 % представленный операцией, или точнее «подпроцессом» проходки, разрушения горной породы на забое шпура и скважины. Современные БУ, станки и буровые каретки оперативно перемещаются в забое подземной горной выработки или на уступе карьера и позиционируются на точке бурения. Время подготовительно-заключительных работ к бурению минимизируется по мере развития технических средств и их компьютеризации. В этом случае термин «бурение» - синоним терминов «углубка забоя, проходка ствола скв.». Противоположный случай – сверхглубокое бурение; здесь до 90% времени уходит на подготовительно-заключительные работы и, особенно, на спуско-подъемные операции – СПО с тяжелой длинномерной колонной бурильных труб, К.П.Д. процесса, с точки зрения подвода энергии к забою на собственно разрушение горной породы (ГП), падает до менее 2 %. Поэтому проектирование процесса бурения для небольших глубин при общем большом метраже проходки скважин на объекте – это прежде всего выбор породоразрушающего инструмента и режимных параметров процесса бурения (разрушения горной породы на забое). На первое место при проектировании процесса бурения выходит учет (условно назовем) **Геологических факторов:**

А) литологический состав ГП - на основании его описания в проектом геологическом разрезе, по таблицам, составленным исходя из опыта буровых работ (классификации ГП по буримости для разных способов бурения), определяют категорию буримости ГП;

Б) физико – механические свойства ГП, их текстурные и другие особенности (трещиноватость, слоистость, абразивность и т.д. – см. л. 5) - эта информация позволяет уточнить закладываемые в проект категории буримости ГП.

Исходя из А и Б **выбирают тип породоразрушающего инструмента** (долота, коронки для бурения и соответствующие им, рекомендуемые заводом – изготовителем, **режимные параметры** процесса бурения; для механического вращательного способа бурения это –

- **осевая нагрузка** на долото (коронку),
- **частота вращения** породоразрушающего инструмента,
- **подача (расход) очистного агента,**
- **тип и свойства очистного агента** (жидкость, газ и др.).

При бурении инженерно-геологических и, более глубоких, геологоразведочных, разведочно-эксплуатационных скважин учитываются, в первую очередь:

В) условия отбора керна (в первую очередь по полезному ископаемому) и исследований геологического разреза скв. (включая ГИС).

Для эксплуатационных скважин на первом месте условия:

Г) вскрытия и освоения продуктивного интервала.

Ориентируясь на В и Г выбирают керноотборный инструмент и оптимальные режимы бурения.

С увеличением глубины скважины, практически прямо пропорционально возрастает необходимость учета, при проектировании процесса проходки ствола скважины **Технических факторов**:

А) условий бурения как функции глубины и диаметра ствола скважины и забоя; с глубиной растут давления (горное, гидростатическое, пластовые) и температура, усложняются условия подвода к забою мощности, необходимой для разрушения горной породы и удаления шлама, породоразрушающий инструмент, при спуске в скв., до контакта с забоем, проходит «большой путь» по металлу обсадных колонн, особенно если скв. бурится наклонно;

Б) типа буровой установки, типа и конструкции бурильной колонны, качества их изготовления и степени износа; как выше (в лекции 11) отмечалось, если БУ сконструировали под решаемую задачу, то она рассчитана и на обеспечение оптимальных технологических режимов бурения для решения этой задачи, если БУ и буровой инструмент выбрали из того, что есть, то не всегда можно их задействовать по оптимальной схеме, тут возможна схема «тише едешь – дальше будешь» - то есть с большей вероятностью достигнешь проектного забоя.

С учетом технических факторов выбранные по справочным данным или рассчитанные по рекомендуемым справочной литературой формулам значения режимных параметров (осевая нагрузка, частота вращения ин – та, расход ПЖ и ее параметры) уточняют и вносят в проектные документы, в первую очередь – в ГТН. При этих уточнениях обязательно учитывают, при их наличии, данные о бурении (в частности об отработке породоразрушающего инструмента) на опорных, и всех ранее бурившихся на объекте скв. с выделением наиболее вероятных **технологических факторов**: поглощения ПЖ, водонефтегазопроявления, неустойчивость ствола и т.п. В процессе же бурения спроектированной скв. режимы бурения постоянно корректируются с учетом фактического геологического разреза и состояния ствола скв. и ее забоя, степени проявления на ней технологических факторов, обусловленных упомянутыми выше горно-геологическими условиями, а также условий работы оборудования и инструмента, например возникновения интенсивных вибраций при определенных режимах бурения и частотах вращения инструмента, проходки интервалов трещиноватых горных пород и т.п.

Определение из учебника (по Калинин): технологический режим бурения – комплекс регулируемых (субъективных) факторов (параметров), определяющих условия и эффективность работы породоразрушающего инструмента на забое скважины. Первичными, или **параметрами управления**, называют те параметры, которые являются факторами прямого воздействия на процесс бурения, для вращательного механического бурения четыре этих параметра названы выше. Вообще говоря, эти параметры объективно связаны с видом и мехсвойствами буримой породы и типом используемого инструмен-

та, но, на более высоком уровне причинно-следственных связей до настоящего времени не освоенном компьютерами, решающую роль играет субъективный фактор – квалификация и опыт бурильщика. Это иллюстрируется голливудским «Армагеддоном», где для спасения Земли опытный «бурила» на астероиде важнее опытного астронавта. Вторичными, или параметрами контроля, называют параметры процесса бурения, находящиеся в объективной зависимости от параметров управления, но в существенной степени, также и от конкретных условий в стволе скважины, т.е. от ряда технологических факторов. Тем самым они позволяют «диагностировать» скважину непосредственно в процессе бурения и, затем, адаптировать к изменяющимся горно-Добротной связи и является задачей снижения фактора субъективизма в бурении. Задачей замены человека машиной для выполнения непростой, с повышенными рисками, работы, в частности, и в первую очередь, на подземных горных работах. К параметрам контроля относят:

**крутящий момент** (момент сопротивления вращению бурового инструмента);

**давление нагнетания** промывочной жидкости;

**частота и амплитуда** динамической составляющей осевой нагрузки и крутящего момента;

**дифференциальное давление** по стволу и на забое скважины (разность гидростатического – гидродинамического давлений в стволе скважины и пластовых давлений на разных интервалах глубин). О пластовых давлениях и проявлениях дифференциального давления непосредственно в процессе бурения обычно судят **по данным дифференциальной дебитометрии** (разности расхода жидкости на «входе» и на «выходе» из скв.).

**Параметры буровой промывочной ж-ти**, изменение которых обусловлено горно-геологическими и технологическими факторами (например плотности ПЖ связанной с концентрацией в ней твердой фазы и наличия пластовых флюидов).

**Сочетание режимных параметров, обеспечивающих наиболее высокие технико-экономические показатели** проходки ствола скважины и качество работ (по критериям: состояния ствола скв., выход и качество керна, состояние призабойной зоны продуктивного пласта) с использованием имеющегося оборудования и инструмента **называется оптимальным режимом бурения.**

Для оценки эффективности технологических режимов и в качестве критерия их оптимизации используют показатели:

1. Скорость бурения ствола скважины (в м/ч):

**Средняя механическая скорость бурения:**

$$V_m = h_p / t_b.$$

### Рейсовая скорость бурения:

$$V_p = h_p / (t_b + t_{сп}),$$

где  $h_p$  - проходка за рейс, м;

$t_b$  - продолжительность работы породоразрушающего ин-та на забое, ч;

$t_{сп}$  - продолжительность спуско-подъемных операций с учетом вспомогательных, ч.

2. **Проходка на долото** и удельные эксплуатационные затраты приходящиеся на бурение 1 погонного метра ствола скважины (в руб/ м)

$$C = \frac{C_d + C_{ч} ( t_b + t_{сп} )}{h_d},$$

где  $C$  - удельные эксплуатационные затраты на бурение 1м ствола скважины;

$C_d$  - цена породоразрушающего инструмента с накладными расходами;

$C_{ч}$  - эксплуатационные затраты за 1 час работы буровой бригады (учитываются зарплата, амортизация оборудования, расход горюче-смазочных и др.);

$t_b$  - время работы инструмента на забое;

$t_{сп}$  - время СПО;

$h_d$  - проходка на долото.

Затраты в целом по скважине - это оплата работы буровой бригады и оборудования, цена израсходованного породоразрушающего инструмента, материалов, накладные а также и могут быть и иные, связанные с процессом бурения, дополнительные расходы (см. полный цикл сооружения скважины). При их отнесении к пройденному в процессе бурения скважины метражу можно оценить удельные эксплуатационные затраты в целом, по результатам бурения скважины.

За основной критерий для оценки не только эффективности технологии бурения, но и работы буровой бригады или даже конкурентности буровой фирмы на рынке услуг часто используют именно **«стоимость одного погонного метра бурения»**, т.е. а) «себестоимость одного метра» - сколько это обходится фирме, б) и какую цену фирма просит за свои услуги, за метр. Тайну пункта **«а»** фирма при этом заказчику старается не открывать.

При оценке эффективности работы в масштабе бригады и (или) фирмы следует упомянуть показатель – **коммерческая скорость бурения**, м/станко-месяц: это сколько метров бурит одна бригада одним станком (одной БУ) за месяц.

В общем виде, для эффективного разрушения ГП на забое, стараются создать такую осевую нагрузку на инструмент, чтобы контактное давление отдельных породоразрушающих элементов долота или коронки (зубков, резцов) превысило твердость породы в забойных условиях, что обеспечивает объемное, т.е. более масштабное ее разрушение. С ростом числа оборотов в целом практически пропорционально возрастает механическая скорость бурения для инструмента режуще-скалывающего типа, для шарошечных (дробящее-скалывающего типа) долот в области повышенных чисел оборотов эта зависимость выполаживается. Интенсивность подачи промывки должна отвечать условию полного удаления шлама с самого забоя во избежание потерь энергии и ресурса долота на его вторичное измельчение и последующей его эффективной транспортировки по стволу скв. к устью, в систему очистки ПЖ. Технологические параметры ПЖ определяются, кроме условия обеспечения промывки забоя и скважины от шлама, факторами поддержания стабильного состояния ствола скважины и, в большой степени, условиями вскрытия, изучения и освоения продуктивных горизонтов.

При самых высоких технико-экономических показателях проходки ствола, невыполнение скважиной геологического или технического задания, недостижение проектных показателей по отбору керна, подсечение продуктивных пластов со значительными отклонениями от проектной отметки, снижение показателей освоения и ввода в эксплуатацию объектов добычи, в целом может снизить эффективность сооружения скважины до нулевой. Поэтому для решения таких задач на первый план выходят и регламентируются проектными документами **специальные режимы бурения**. «Магистральным» направлением улучшения показателей бурения (проходки стволов) скв. является повышение стойкости долот (проходки на долото, времени работы долота на забое) и механической скорости бурения.

### **Литература:**

1. Калинин А.Г. Технология бурения скважин на жидкие и газообразные полезные ископаемые. М. Недра. 1989 г.
2. Буровые промывочные жидкости. Электронное уч. пособие. Бабец М.А., Саноцкая Т.И. БНТУ, каф. «Горные работы». 2012 г.