

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тюменский государственный нефтегазовый университет»

Г. А. Кулябин, А. Г. Кулябин, А. Ф. Семенов

ТЕХНОЛОГИЯ УГЛУБЛЕНИЯ СКВАЖИН С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССОВ

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов
Российской Федерации по нефтегазовому образованию
в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений, обучающихся по направлению
подготовки магистров 131000 «Нефтегазовое дело»*

Тюмень
ТюмГНГУ
2012

УДК 622.24 (084)
ББК 33.131(075.8)
К 90

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор С. И. Грачев
доктор технических наук, профессор Я. М. Курбанов

Кулябин, Г. А.

И 85 Технология углубления скважин с учетом динамики процессов : учебное пособие / Г. А. Кулябин, А. Г. Кулябин, А. Ф. Семененко. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2011. – 206 с.
ISBN 978-5-9961-0446-8

В книге представлены общие вопросы технологии бурения, методы проектирования бурильной колонны и режимов углубления скважин с расчетами затрат мощности при этом, методы выбора привода долота и расчеты осевых усилий, определяющих взаимосвязь технологических параметров и энергетическую характеристику машинных агрегатов. Приведены новые модели процесса углубления скважин и методы расчета технологически необходимых величин давления на выкиде буровых насосов и перепада давления в промывочном узле долот с последующим расчетом диаметра струйных насадок долот. Рассмотрены волновые процессы в бурении и способы управления параметрами вибраций, а также конструктивные отличия гидравлических забойных двигателей.

Пособие предназначено для инженерно-технических работников буровых предприятий, аспирантов, магистров, бакалавров и студентов нефтегазовых вузов, специализирующихся по бурению скважин.

УДК 622.24 (084)
ББК 33.131(075.8)

ISBN 978-5-9961-0446-8

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего
профессионального образования
«Тюменский государственный
нефтегазовый университет», 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ СКВАЖИН	11
1.1. Цели и задачи строительства скважин	11
1.2. Скважина, ее элементы и конструкция, компоновка низа бурильного инструмента, понятие о буровой	12
1.3. Способы бурения глубоких скважин на нефть и газ	27
1.4. Основные технико-экономические показатели бурения	29
1.5. Понятие о регламенте на углубление скважин	30
2. ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В БУРИЛЬНОМ ИНСТРУМЕНТЕ И ПОТОКЕ ПРОМЫВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ	32
2.1. Общие понятия о динамике при углублении скважин	32
2.2. Параметры вибраций	37
2.3. Расчет параметров осевых зубцовых вибраций долота	39
2.4. Вибрации с повышенными амплитудами. Гидроимпульсное давление	46
2.5. Управление параметрами вибраций бурильного инструмента	52
2.6. Выводы	57
3. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ БУРЕНИЯ	58
3.1. Влияние параметров режима бурения на механическую скорость проходки	58
3.2. Расчет механической скорости проходки	61
3.3. Влияние осевой нагрузки на долото и частоты его вращения на проходку	64
3.4. Влияние расхода промывочной жидкости	65
3.5. Влияние параметров промывочной жидкости	66
3.6. Влияние волновых процессов в бурильном инструменте на механическую скорость бурения и проходку на долото	68
3.7. Влияние типа привода долота	68
4. БУРИЛЬНАЯ КОЛОННА	70
4.1. Назначение и состав бурильной колонны	70
4.2. Общие сведения о конструкциях бурильных труб	71
4.3. Расчет приведенного веса (массы) бурильных труб в воздухе и в жидкости	79

4.4. Расчет удлинения буровой колонны в скважине	79
4.5. Условия работы буровой колонны	81
4.6. Напряжения в буровых трубах	82
4.7. Устойчивость буровой колонны	85
4.8. Вариант методики проектирования буровой колонны.....	86
5. СВЕДЕНИЯ О ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЗАБОЙНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ И ТЕОРИИ ИХ РАБОТЫ	95
5.1. Понятие о машинном агрегате в бурении.....	95
5.2. Принцип действия турбобура	96
5.3. Устройство турбобура. Классификация турбин.....	96
5.4. Расчет крутящего момента на трение в осевой опоре серийного турбобура	100
5.5. Конструктивные отличия турбобуров	101
5.6. Технологическая характеристика турбин	106
5.7. Технологическая характеристика турбобура.....	108
5.8. Расчет параметров характеристики турбин по упрощенной модели	110
5.9. Расчет моментов сопротивления ротору турбобура и параметров, определяющих его работу	112
5.10. Построение характеристики турбобура.....	118
5.11. Объемные забойные двигатели типа «Д»	120
6. РАСЧЕТ МОЩНОСТЕЙ, РАСХОДУЕМЫХ ПРИ УГЛУБЛЕНИИ СКВАЖИН.....	126
6.1. Понятие о гидравлических расчетах в бурении.....	126
6.2. Определение максимального (оптимального) давления на выкиде буровых насосов.....	127
6.3. Расчет диаметра насадок для промывочного узла долота	129
6.4. Расчет мощностей, расходуемых на забой скважины.....	132
6.5. Коэффициент передачи мощности на забой скважины и КПД способа бурения	135
7. ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ БУРЕНИЯ	138
7.1. Основные понятия и определения.....	138
7.2. Методы проектирования режимов бурения	139
7.3. Выбор долота.....	141
7.4. Осевые усилия на статор и ротор турбобура.....	142
7.5. Проектирование осевой нагрузки на забой скважины	145
7.6. Определение расхода промывочной жидкости	150

7.7. Основные требования к свойствам промывочной жидкости для эффективного углубления скважин	155
7.8. Проектирование частоты вращения долота	156
7.9. Особенности технологии бурения с турбобурами серии А, с ВЗД, одношарошечными, алмазными и фрезерными долотами.....	157
7.10. К проектированию специальных режимов углубления скважин	159
 8. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕХНОЛОГИИ РОТОРНОГО БУРЕНИЯ И ЭЛЕКТРОБУРЕНИЯ. РОТОРНО-ШПИНДЕЛЬНЫЙ СПОСОБ БУРЕНИЯ	161
8.1. Роторный способ.....	161
8.2. Электробурение.....	164
8.3. Роторно-шпиндельный способ бурения	166
 9. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СПОСОБА БУРЕНИЯ И МОДЕЛИ ЗАБОЙНОГО ДВИГАТЕЛЯ.....	172
9.1. Взаимосвязь между технологическими параметрами при бурении скважин	172
9.2. Влияние осевых усилий на частоту вращения вала турбобура.....	172
9.3. Выбор способа бурения.....	174
9.4. Выбор модели турбобура и ГЗД	178
9.5. Комбинирование турбинок турбобуров	180
 10. ПОНЯТИЕ ОБ АВТОМАТИЗАЦИИ, ОПТИМИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИИ В БУРЕНИИ СКВАЖИН	182
10.1. Общее понятие об оптимизации и управлении	182
10.2. Оптимизация углубления скважин.....	183
10.3. О математических моделях процесса углубления скважин	184
10.4. Каналы связи в бурении	186
10.5. Приборы контроля режимных и других параметров при углублении скважин.....	186
10.6. Отработка долот	188
10.7. Устройства подачи долота.....	189
Приложения	190
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	202

ВВЕДЕНИЕ

В нашей стране проводку скважин довольно успешно осуществляли и осуществляют с применением забойных двигателей (до 80% и более от числа всех проводок), в связи с чем разработано достаточно большое количество конструкций забойных двигателей, в основном гидравлических, и в первую очередь турбобуров, а также долот, приспособленных к работе с таким приводом. Выпускаемые забойные двигатели позволяют бурить скважины различной глубины с разными типами профиля, с широкими диапазонами изменения типа и свойств промывочных жидкостей и параметров режима бурения, с применением разных типоразмеров породоразрушающего инструмента.

Но более сложная, чем при роторном способе, технология углубления скважин с ГЗД и специфика организации буровых работ в нашей стране обусловили определенное отставание разработок в бурении и, в частности, в теории технологии углубления скважин. Это явилось одной из главных причин того, что с 1961 г. в нашей стране не выпускалось учебников по технологии бурения глубоких скважин на нефть и газ, а с 1966 г. не было официального пособия для решения практических задач по бурению таких скважин. Причем многие инженерно-расчетные методы в технологии углубления скважин оказались неприемлемыми по разным причинам. Среди них: недостаточным объемом скважинной информации и, как следствие, некорректной оценкой возможностей бурильного инструмента, в частности долот, несмотря на большой объем стендовых исследований, например в УНИ. Так, глубина внедрения зуба шарошечного долота оценивалась в размере до 75% высоты зубца при огромном для забойных условий его скольжении по забою. Возможности разрушения пород струей жидкости, выходящей из промывочного узла долот, значительно завышались. В результате, например, в Тюменской области в течение 15 лет насадки долот продолжают снимать непосредственно на буровой, часто не заменяя другими. Это влечет за собой потерю огромных денежных средств.

До сих пор имелись существенные недостатки в методах проектирования параметров режима углубления скважин. Не предлагалось приемлемого определения способов бурения, как способов реализации формируемой на устье скважины и расходуемой на ее забое мощности. В результате эффективность способов бурения в конкретных условиях часто оценивалась бурением неоправданно большого количества скважин.

Многие расчеты в технологии бурения еще производятся в статике, хотя известно, что подведенная к забою мощность реализуется в течение периода осевых зубцовых вибраций долота. Можно продолжить перечень

недостатков в технологии бурения и убедиться в причинах низкого уровня оптимизации процесса управления углублением скважин, в причинах неоправданно большого количества одновременно выпускающихся забойных двигателей, а также в одной из причин, почему часто инженеры-буровики вынуждены работать на уровне техника-оператора, а не инженера.

В данной работе по возможности устранены недостатки в расчетных методах, связанные с углублением скважин. Это позволяет повысить качество проектов на их проводку и уровень управления процессом углубления скважин; избежать в технологии углубления скважин типичных ошибок, связанных с работой бурового машинного агрегата.

Так, при аналитическом методе проектирования режима углубления скважин учитываются те параметры и исходные данные, которые определяют энергетику разрушения пород на их забое и эффективную работу планируемого привода долота. Такой подход позволил усовершенствовать проектирование компоновки бурильной колонны, модели забойного двигателя и диаметра струйных насадок долот без предварительного расчета потерь напора в гидравлическом тракте скважины. Кроме новых методов расчета и проектирования параметров, необходимых для эффективного углубления скважин, предложен один из вариантов технической характеристики турбобура, который дает возможность более правильно оценивать работу машинного агрегата, коротко освещен вопрос о новом роторно-шпиндельном способе бурения, учитывающем преимущества роторного и турбинного способов. В данной работе приведены примеры расчетов для повышения эффективности освоения технологии бурения скважин, приведены технологические характеристики основных моделей забойных двигателей, а также новые сведения об устройствах и процессах для повышения эффективности углубления скважин со ссылками на первоисточники.