

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'M.V. Dvoynikov', written over a horizontal line.

**Руководитель программы
аспирантуры
профессор М.В. Двойников**

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ РАБОТ

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОГО БУРЕНИЯ

Подготовка научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Область науки:	2. Технические науки
Группа научных специальностей:	2.8. Недропользование и горные науки
Научная специальность:	2.8.1. Технология и техника геологоразведочных работ
Отрасли науки:	Технические
Форма освоения программы аспирантуры:	Очная
Срок освоения программы аспирантуры:	4 года
Составители:	к.т.н., доц. П.А. Блинов

Санкт-Петербург

ВВЕДЕНИЕ

Одной из главных предпосылок роста производительности труда является комплексная механизация и автоматизация производства.

Под комплексной механизацией и автоматизацией понимают такой производственный процесс, при котором все операции выполняются машинами или механизмами, а их управление специальными устройствами — автоматами, действующими без непосредственного участия человека.

Если при механизации работ облегчается физический труд, то автоматизация к тому же освобождает работника от непосредственного управления машинами и механизмами. Она также позволяет существенно повысить производительность труда и качество продукции, безопасность работ и культуру производства. Однако стоимость средств автоматизации и расходы по их наладке и регулированию в ряде случаев могут оказаться достаточно высокими. Поэтому автоматизация производственных процессов должна применяться только при условии экономической целесообразности, а также для освобождения человека от тяжелого или вредного труда. Предпосылкой для автоматизации производственных процессов является полная механизация всех ручных операций, а также широкое применение контрольно-измерительных приборов (КИП).

Оснащение контрольно-измерительными приборами станков и механизмов на горно-буровых работах позволяет получать информацию о ходе технологического процесса, своевременно вносить коррективы и тем самым положительно влиять на его результат.

Так, при бурении скважин контроль за показаниями и записями приборов позволяет:

- осуществлять поиск и поддерживать оптимальными значения параметров режима бурения;

- обеспечивать рациональную отработку породоразрушающего инструмента;
- определять аварийные ситуации и тем самым своевременно предотвращать аварии;
- анализировать баланс рабочего времени и проводить механический каротаж.

С ростом глубин скважин процесс бурения усложняется, что значительно повышает роль КИП. Для контроля за процессом бурения и параметрами глубоких скважин (забойное и пластовое давления, динамический уровень, температура, расход и другие) помимо приборов наземного контроля начинают применять глубинные приборы. При бурении сверхглубоких скважин важное значение приобретает автоматический контроль глубинных параметров скважины, состояния глубинного оборудования, а также регулирование некоторых параметров режима бурения, т. е. телеконтроль и автоматическое управление забойными регуляторами.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ

Бурение на нефть и газ - самый дорогостоящий процесс в общем цикле работ, связанных с разведкой этих полезных ископаемых, их добычей, транспортом и переработкой в бензин и другие продукты. Современные буровые установки представляют собой сложный комплекс различных механизмов с установленной мощностью силовых агрегатов в несколько тысяч киловатт. Стоимость эксплуатации каждого часа работы такой установки крайне велика. Координация действий и выбор оптимальных режимов работы ее основных и вспомогательных механизмов, направленных на решение задачи снижения себестоимости и ускорения проводки ствола скважины, имеют важнейшее значение

Целенаправленные процессы, выполняемые человеком для удовлетворения различных потребностей, представляют собой организованную и упорядоченную совокупность действий, называемых **операциями**, которые подразделяются на рабочие операции и операции управления.

К **рабочим операциям** относятся действия такого рода, как например, перемещение груза, замена инструмента и т.д. Для правильного и качественного выполнения рабочих операций необходимо направлять их действиями другого рода – **операциями управления**, посредством которых в соответствующие моменты времени обеспечиваются начало, порядок следования и окончания отдельных операций. Совокупность управляющих операций образует **процесс управления**.

Замена человека в рабочих операциях механизмами называется механизацией. Цель механизации – освобождение человека от выполнения тяжелых рабочих операций, требующих больших затрат физической энергии, а также от вредных, рутинных и монотонных операций, утомительных для нервной системы человека.

Замена человека как в рабочих операциях, так и в операциях управления действиями технических устройств называется **автоматизацией**, а сами технические устройства, действующие без участия человека, - автоматическими устройствами.

Совокупность технических средств – машин, орудий труда, средств механизации – представляют собой **объект управления**.

Совокупность устройств и объекта управления образуют систему управления.

Система, в которой все рабочие и управленческие операции выполняются техническими устройствами, называется автоматической.

Система, в которой автоматизирована только часть управленческих операций, а другая их часть (обычно наиболее ответственная) выполняется людьми, называется автоматизированной системой управления (АСУ).

Наиболее общая формулировка понятия управления следующая: управление – это процесс, посредством которого субъект системы обеспечивает упорядочение и функционирование управляемого объекта. Процессы управления существуют в самых различных сферах человеческой деятельности. Важнейшие виды управления – это управление производством и технологическим процессом. Имеются два уровня управления: уровень «скрипача» – управление технологическим процессом и уровень «дирижера» – управление производством.

Производством управляют люди, и в процессе управления они воздействуют на других людей. **Технологическим** процессом также управляют люди, но они воздействуют на средства производства и предметы труда.

При управлении технологическим процессом продуктом труда является продукт производства или услуга (в т.ч. информация), а при управлении производством – только информация.

При управлении технологическим процессом координируются операции и движения, составляющие технологический процесс. При управлении производством действия людей. Длительность циклов управления зависит от иерархического уровня управления. Самые

короткие по времени циклы управления t_u на самом низком уровне – в управлении технологическим процессом. Если $t_u = 0$, то управление осуществляется непрерывно. Циклом управления называют период, в течение которого 1 раз выполняют набор определенных функций управления или их частей, охватывающий одно или несколько управленческих решений. Самый короткий цикл управления называют основным. Длительность этого цикла определяется прежде всего характером технологического процесса и возможностями обслуживающего персонала. Длительность циклов управления – отличительная черта иерархического уровня управления. Это четвертое отличие.

Пятое коренное отличие заключается в том, что только в управлении технологическим процессом можно создать автоматические системы с замкнутой обратной связью. На других иерархических уровнях осуществляется управление людьми, и автоматическое управление при этом невозможно.

Наиболее существенным выводом из изложенного является то, что управление технологическими процессами можно автоматизировать полностью, а управление производством – только частично.

***Автоматизация** - замена функций человека по управлению, регулированию и контролю технологического процесса специальными устройствами. Автоматически действующие устройства работают более надежно, исключают ошибки персонала.*

*Любой процесс управления состоит из **четырёх элементов**: получение информации о задачах управления (выработка задания), получение информации о результатах управления, т.е. о состоянии объекта управления, **анализ** полученной информации и **выработка** решения, **исполнение решения**, т.е. осуществление управляющих действий.*

Автоматика изучает управление только техническими объектами, представляющими собой рабочие механизмы, машины и комплексы машин, реализующие различные технологические операции и процессы производства.

Управление механизмами, установками, и комплексами может быть: **местное и дистанционное; ручное, автоматизированное и автоматическое.**

Местное управление осуществляется оператором, находящимся в месте расположения управляемого объекта, при помощи пускателей, выключателей и т.д.

Дистанционное управление осуществляется оператором, находящимся за пределами объекта управления. В этом случае оператор на пульте управления формирует команды на включение, отключение или изменение режима работы объекта.

Для обеспечения надежной и экономичной передачи сигналов управления и контроля на большие расстояния используют для связи пунктов управления и объектов **телеметрические системы** передачи информации, включающие кроме линий связи **специальные приемопередающие устройства**. В этом случае дистанционное управление называется телеметрическим. При ручном управлении все четыре элемента процесса управления выполняются человеком. **Ручное управление** объектом предусматривается также и при наличии других видов управления, являясь резервным или основным при выполнении ремонтных и наладочных работ.

***Автоматизированное управление** является человеко-машинным управлением. Человек выполняет основную функцию управления - принятия решения (выработку команды управления). Другие элементы управления выполняются техническими средствами.*

***Автоматическое управление** - это управление без непосредственного участия человека, т.е. все четыре элемента процесса управления выполняются техническими средствами.*

Совокупность** управляемого объекта и устройства, обеспечивающего реализацию части или всех функций процесса управления без непосредственного участия человека, **называется автоматической системой.

2. КОНТРОЛЬНО - ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И АППАРАТУРА ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН.

Непрерывный контроль параметров бурения скважин позволяет, по показаниям наземных приборов расчленять пласты разбуриваемых пород непосредственно в процессе бурения. Это способствует своевременному принятию необходимых мер для полноценного извлечения керна из скважины.

Большое значение имеет контроль процесса бурения в предупреждении возникновения аварийных ситуаций и ликвидации аварий. Бурильщик с помощью измерительной аппаратуры может не только следить за изменениями процесса, но и получать предупредительную сигнализацию при отклонениях значений параметров режима бурения и работы механизмов. Кроме того, измерительная аппаратура обеспечивает возможность устройства автоматических защитных средств. Регистрация параметров процесса бурения дает возможность расшифровать баланс рабочего времени, что позволяет выявить резервы роста производительности труда.

Оснащение контрольно-измерительной аппаратурой буровых установок позволяет автоматизировать процесс бурения, обеспечивает получение информации для систем диспетчеризации, создавая тем самым, основу для разработки и применения автоматизированных систем управления геологоразведочным производством.

Специальным конструкторским бюро «Геотехника» было разработано несколько видов контрольно-измерительной аппаратуры для различных типов буровых установок. Опыт внедрения этой аппаратуры позволил решить целый ряд вопросов, связанных с конструированием и эксплуатацией приборов. Установлено, что в силу специфичности условий эксплуатации КИП на буровых, нельзя рассчитывать на использование приборов общепромышленного назначения с присущими им характеристиками.

Аппаратура должна работать в широком диапазоне изменения температуры окружающей среды с повышенной влажностью, быть непроницаема для пыли и брызг, устойчива к воздействию ударов и вибрации, устойчива колебаниям напряжения питающей среды. Специфичность условий эксплуатации контрольно-измерительной аппаратуры буровых станков привела к необходимости выработки особых требований к основным параметрам приборов. Эта задача была решена путём разработки и реализации нормальных стандартных рядов КИП буровых установок для бурения скважин на твёрдые полезные ископаемые.

Нормальные ряды КИП устанавливают рациональный минимум оснащения указателями, регистраторами и сигнализацией буровых установок по номенклатуре параметров наземного контроля, определяют классы точности и диапазоны измерения, а также формулируют основные технические требования.

В зависимости от размерного класса буровых установок, нормальные ряды предусматривают контроль следующих основных параметров процесса бурения: 1 - веса бурового снаряда и осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент; 2 - нагрузки на крюке талевого оснастки; 3 - механической скорости бурения; 4 - скорости вращения бурового снаряда; 5 - крутящего момента на вращателе; 6 - расхода промывочной жидкости; 7 - давления в магистрале промывочной жидкости.

Контроль осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент – один из основных методов управления процессом разрушения горных пород при любом способе бурения. От правильного выбора значения и контроля данного параметра зависит эффективность всего процесса. Например, внезапные изменения осевой нагрузки, особенно при бурении со свободной подачей, свидетельствует о смене разбуриваемых пород. Это позволяет в процессе бурения вести с помощью КИП механический каротаж. В связи с тем, что по мере увеличения глубины скважины уменьшается отношение нагрузки на породоразрушающий инструмент к весу снаряда, нормальными рядами предусмотрено повышение точности измерителей нагрузки от класса 4 до класса 1.

Контроль нагрузки на крюке талевого системы необходим при спуско-подъёмных операциях и, особенно, при ликвидации аварий, вызванных прихватом инструмента в скважине. Применение такого контроля повышает безопасность буровых работ.

Контроль механической скорости бурения позволяет устанавливать наиболее эффективные режимы и проводить механический каротаж в процессе бурения.

Контроль крутящего момента является основным методом предупреждения аварий, вызванных прихватом или обрывом колонны бурильных труб при перегрузках крутящих моментов. Кроме того, контроль крутящего момента позволяет судить о характере разрушения горной породы при бурении и дает дополнительную информацию для механического каротажа. Это позволяет в сочетании с контролем осевой нагрузки оперативно управлять процессом работы породоразрушающего инструмента.

Контроль расхода промывочной жидкости особенно необходим при бурении скважин алмазным инструментом. Он позволяет избежать прижогов коронки и связанных с этим прихватов инструмента. Кроме того, измерение расхода промывочной жидкости позволяет своевременно обнаружить поглощение промывочного раствора в скважине и контролировать состояние буровых насосов.

Контроль давления промывочной жидкости является необходимым по условиям техники безопасности. Кроме того, по давлению можно судить о степени зашламования забоя и герметичности соединений колонны бурильных труб.

Нормальными рядами предусмотрен класс точности приборов, равный 4. Для регистраторов установлен класс точности 2,5.

В зависимости от условий, способа бурения, типа буровой установки контроль различных параметров может иметь различное назначение. Поэтому, как показала практика, кроме комплексной контрольно-измерительной аппаратуры целесообразно применять отдельные системы измерения каждого параметра. Такое конструктивное исполнение аппаратуры позволяет более экономично осуществить контроль и, кроме того, облегчает освоение техники буровым персоналом.

Различными могут оказаться требования к точности измерения тех или иных параметров. Полноценное формулирование этих требований позволяет осуществить выбор необходимого прибора. Большое значение имеет оценка возможной погрешности, получаемой при измерениях. Оснащение буровых установок измерительной аппаратурой, основанной на электрическом методе измерения, позволяет осуществить автоматизацию процесса бурения.

Углубка скважины является основной технологической операцией процесса бурения. При её реализации возникает множество ситуаций, которые фиксируются контрольными приборами. Основная задача контроля процесса бурения - оперативное распознавание технологической ситуации и её численная оценка. Другая, не менее важная – контроль действий бурильщика, для чего необходимо применять соответствующие технические средства и методы.

Для оценки реальных (забойных) значений основных параметров режима бурения, искажённых при прохождении их от наземных исполнительных механизмов до забоя скважины, созданы забойные автономные и телеизмерительные контрольно-измерительные средства. Они позволяют вносить коррективы в показания наземных приборов при управлении процессом бурения.

Контрольно-измерительная аппаратура, применяемая в геологоразведочном бурении, предназначена для контроля технологических параметров процесса углубки скважины и спуско-подъемных операций. На рис. 1 приведена классификация технических средств контроля, в основу которой положены принципы ранжирования измерителей по способу воздействия на объект контроля, числу контролируемых параметров и выполняемым функциям. В настоящее время для контроля процесса бурения применяются, главным образом, технические средства контроля с датчиками, расположенными на исполнительных буровых механизмах.

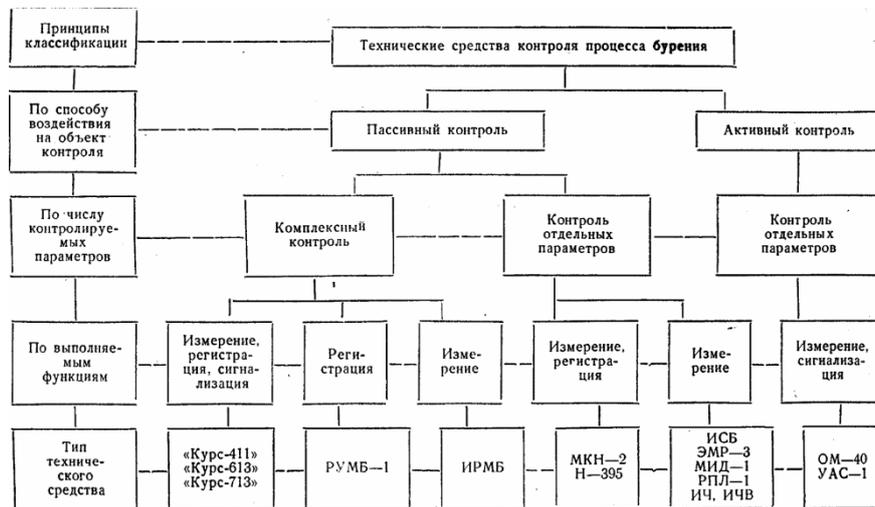


Рис. 2. 1. Классификация технических средств контроля процесса бурения

Контроль, осуществляемый аппаратурой, может быть пассивным и активным. При пассивной форме связь операций контроля и управления производится через бурильщика, при активной - без бурильщика. По числу контролируемых параметров аппаратура обеспечивает комплексный контроль и контроль отдельных параметров, по функциям - обеспечивает измерение, измерение и сигнализацию, измерение и регистрацию, измерение и регистрацию с одновременной сигнализацией.

Комплексный контроль и измерение показателей режимов бурения осуществляется с помощью аппаратуры «Курс» и «Румб».

Контрольно-измерительная аппаратура «Курс-713» предназначена для измерения и контроля параметров процесса бурения скважин станками СКБ-8. Аппаратура обеспечивает измерение и регистрацию нагрузки на породоразрушающий инструмент, усилия на крюке, измерение механической скорости бурения, расхода промывки, частоты вращения бурового снаряда и крутящего момента.

Контрольно-измерительная аппаратура «Курс-613» предназначена для измерения и регистрации комплекса параметров процесса углубки скважины. Аппаратурой оснащают буровые станки СКБ-7. «Курс-613» позволяет регистрировать нагрузку на породоразрушающий инструмент на круговой диаграмме, обеспечивает визуальный контроль механической скорости, частоты вращения бурового снаряда, расхода и давления промывочной жидкости, крутящего момента, а также звуковую и световую сигнализацию при достижении экстремальных значений расхода промывочной жидкости, крутящего момента и усилия на крюке.

Аппаратура «Курс-411» обеспечивает визуальный контроль и регистрацию нагрузки на породоразрушающий инструмент, визуальный контроль механической скорости бурения, расхода и давления промывочной жидкости, световую и звуковую сигнализацию при достижении минимальных значений расхода промывочной жидкости. «Курс-411» предназначен для оснащения буровых станков СКБ-5.

Индикатор расхода - буровой манометр ИРМБ предназначен для измерения расхода и давления промывочной жидкости, закачиваемой в скважину. В состав комплекта входят пульт прибора, датчики расхода (с ротометрическим элементом) и давления (с магнитоупругим элементом). Объединение на одном пульте контроля двух параметров бурения позволяет своевременно распознавать и предупреждать такие предаварийные ситуации, как прихваты бурового снаряда и неисправности в работе бурового насоса. Прибор может быть использован при бурении с глинистым раствором. Для контроля максимального давления и минимального расхода жидкости в приборе предусмотрено использование сигнализирующих устройств.

Универсальный регистратор параметров процесса бурения РУМБ-1, предназначен для контроля и синхронной записи на одной диаграмме нагрузки на породоразрушающий

инструмент, усилия на крюке, скорости бурения, крутящего момента, частоты вращения, расхода и давления промывочной жидкости.

Принцип действия регистратора РУМБ-1 основан на преобразовании измеряемых параметров процесса бурения, поступающих от аппаратуры типа «Курс» установок СКБ или от датчиков - преобразователей станков ЗИФ-1200МР, в электрические напряжения, подаваемые, соответственно, на входы каждого канала регистратора. Измерительная схема каждого канала – компенсационная на переменном токе. Электрический сигнал от преобразователя, поданный на вход канала, сравнивается с сигналом компенсатора, фиксируется на показывающем приборе.

Разность поданного сигнала и сигнала компенсатора повышается нульусилителем и подается на управляющую обмотку реверсивного двигателя, который поворачивает ротор компенсатора до тех пор, пока входной сигнал компенсатора не станет равен сигналу, поданному на вход канала регистратора. Одновременно происходит отклонение пера регистрирующего устройства, кинематически связанного с ротором компенсатора. Питание регистратора осуществляется от феррорезонансного стабилизатора напряжения.

Регистратор включает: регистрирующий прибор и блок питания для станков УКБ-7, УКБ-8 и ЗИФ-1200МР, а для ЗИФ-1200МР также и распределительную коробку, шкаф, преобразователь давления, усилия, расхода промывочной жидкости, скорости бурения и трансформатор тока.

3. ПРИБОРЫ И АППАРАТУРА ДЛЯ ЗАБОЙНОГО КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССОВ БУРЕНИЯ.

С увеличением глубин скважин все труднее становится измерять параметры бурения поверхностными приборами вследствие увеличения ошибок, связанных с удлинением колонны бурильных труб. Так, например, осевая нагрузка на забой, измеряемая на устье скважины, может существенно отличаться от действительной за счет трения колонны о стенки скважины при ее перемещении. Частота вращения, измеряемая как средняя величина, порой не отражает динамики движения породоразрушающего инструмента с его ускорениями и замедлениями.

Для регистрации основных параметров процесса бурения и регулирование ими с поверхности с целью поддержания оптимального технологического режима и предотвращения аварийных ситуаций современные буровые установки оснащаются приборами одиночных параметров и аппаратурой комплексного контроля.

Создание телеметрических систем контроля за положением отклонителя и забойными параметрами ствола скважины в процессе бурения придало значительный импульс научно-техническому прогрессу в области бурения скважин на нефть и газ.

Телеметрические системы контроля в сочетании с методико-математическим и программным обеспечением дали технологам небывалые возможности, в корне изменив методы их работы.

Зарубежные и отечественные специалисты считают, что самое актуальное и перспективное направление, в котором должна развиваться технология бурения, - это применение электронных систем для измерения на забое в процессе бурения (ИПБ), или по английской транскрипции - MWD (Measurement while drilling).

Первые патенты в области измерений скважинных параметров во время бурения, а затем и статьи по этому вопросу появились в начале 30-х годов, но наибольший подъем начинается после 60-х годов, когда были проведены основные исследования по оценке и выбору канала связи, по составу телесистемы, а также их конструкции.

Практические разработки по телеметрическим системам измерений с использованием импульсов, передаваемых на поверхность через буровой раствор, были начаты в 50-х годах. В США были разработаны телесистемы Теледрифт и Телеориэнтэр, передающие информацию с забоя о зенитном угле и положении отклонителя, соответственно, с использованием механических забойных датчиков фирмой «Байрон Джексон Хьюз», в СССР - ориентаторы и

гидротурботоахометры, сигнализаторы направления бурения, разработанные ВНИИБТ совместно с другими организациями страны. Спустя более 20 лет, в 1978 г., в результате интенсивных работ, проводимых фирмой «Teleso» (США), была создана серийная модель телеметрической системы (ТС) для измерения скважинных параметров, которая была отработана в промысловых условиях, а в СССР - телеметрические системы СТЭ, СТТ с электропроводным каналом связи, телесистема ЗИТ, ЗИС-4М с электромагнитным каналом связи, телесистема ГИТ с гидравлическим каналом связи, прошедшая предварительные испытания в скважинах Бориславского УБР «Укрнефть», а позднее телесистема ТСГК ВНИПИморнефтегаза, также с гидравлическим каналом связи. К сожалению, разработки телесистем с гидравлическим каналом связи в России были приостановлены.

Уже в 1984 г. в мировой практике телесистемы были использованы в 1500 скважинах. Предполагается, что в 2001 г. они ежегодно будут использоваться при бурении 4000 и более скважин. Увеличение объема применения телеметрических систем обусловлено развитием горизонтального бурения, бурения боковых стволов, а также ужесточением экологических требований.

Разработки и промышленное применение телесистем для контроля проводки наклонно направленных скважин ведутся многими фирмами США, Франции, ФРГ, Канады, Норвегии, Англии, Китая и других стран, а также в России: ОАО «НПО «Буровая техника» - ВНИИБТ (ЭТО-1, ЭТО-2, ЭТО-3, ЭТО-4), ВНИИГИС (г. Октябрьский), ВНИИНПГ (г. Уфа), Удмуртнефть (г. Ижевск), ЗАО «НТ-КУРС» и другие.

Если первоначально ИПБ производились для контроля зенитного угла, азимута и положения отклонителя, то в последние десять лет разработаны и устройства для проведения каротажных работ на базе ИПБ. Создан инструмент для измерения параметров режима бурения: нагрузки на долото, крутящего момента, частоты вращения долота, давления на забое. Технология систем ИПБ развивается очень быстро, но самые большие достижения ожидаются в развитии наземных систем контроля наземных параметров бурения и включении этой информации в обработку совместно с забойной информацией.

Существующие телесистемы включают следующие основные части (рис 3.1):

- забойную аппаратуру;
- наземную аппаратуру;
- канал связи;

а также:

- технологическую оснастку (для электропроводной линии связи);
- антенну и принадлежности к ней (для электромагнитной линии связи);
- немагнитную УБТ (для телесистем с первичными преобразователями азимута с использованием магнитометров);
- забойный источник электрической энергии (для телесистем с беспроводной линией связи).

Забойная часть телесистемы включает первичные преобразователи измеряемых параметров, таких, как:

- первичные преобразователи (ПП) направления бурения;
- первичные преобразователи геофизических параметров приствольной зоны скважины;
- первичные преобразователи технологических параметров бурения.

К первичным преобразователям направления бурения относятся:

- ПП зенитного угла в точке измерения (α);
- ПП азимута скважины (I);
- ПП направления отклонителя (γ).

Азимут отклонителя определяется путем математической и электронной обработки данных первичных преобразователей направления.

К первичным преобразователям геофизических параметров (данных каротажа) можно отнести геофизические зонды, измеряющие:

КС - кажущееся сопротивление горных пород;

ПС - самопроизвольную поляризацию;

- гамма-картаж (гамма естественного излучения горных пород);
- электромагнитный картаж.

К первичным преобразователям технологических параметров бурения можно отнести датчики, измеряющие параметры процесса бурения:

- осевую нагрузку на долото (G);
- момент (M) реактивный или активный;
- частоту вращения (n) вала забойного двигателя (долота);
- давление внутри и снаружи бурильной колонны;
- температуру внутри и снаружи телесистемы;
- и другие, по желанию заказчика, а также аппаратурные возможности телесистемы.

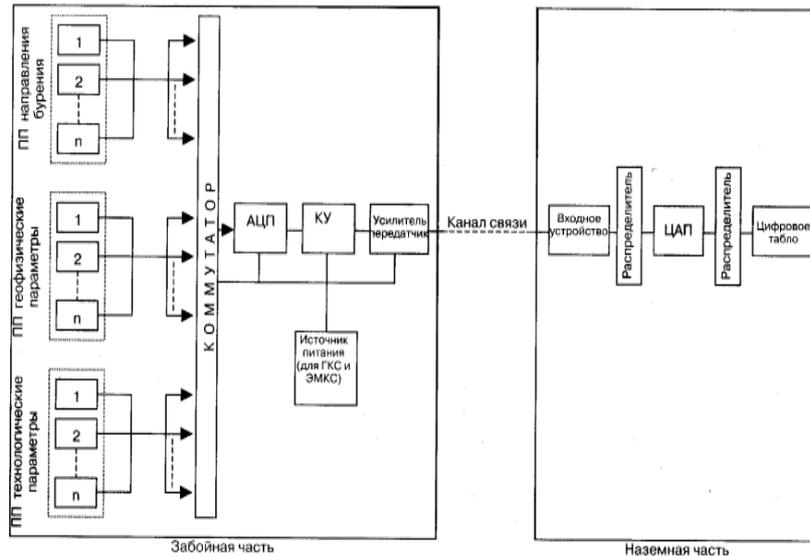


Рис. 3.1. Блок-схема телеметрической системы

Данные от первичных преобразователей через коммутатор поступают на аналого-цифровой преобразователь (АЦП), затем через кодирующее устройство (КУ), усилитель-передатчик поступают в канал связи. На поверхности закодированная различными способами информация расшифровывается в обратном порядке и поступает на системы отображения и обработки для принятия решений по технологическому режиму. Входные устройства в зависимости от применяемого канала связи в телесистемах различаются. Так, в телесистемах с ЭКС входное устройство достаточно простое. Здесь задача состоит в разделении информационных сигналов от электропитания забойной аппаратуры. Сложнее в телесистемах с ГКС и ЭМКС.

Входное устройство наземной аппаратуры телеметрических систем с ГКС достаточно сложное и включает в себя ПП импульсов (или волн) давления, поступающих от забойного пульсатора в условиях высокого уровня давления буровых насосов (до 20,0 МПа и более), а также пульсаций давления насосов, достигающих в ряде случаев до 1,7 МПа и при наличии помех технологического типа от подачи инструмента и взаимодействия долота с забоем. В связи с этим входное устройство включает в себя специальные фильтры и устройства, подавляющие эти помехи. Здесь следует отметить, что наиболее помехоустойчивое входное устройство в телесистемах, передающих непрерывную волну.

Входное устройство наземной аппаратуры телеметрических систем с ЭМКС включает специальную погружаемую в грунт антенну и фильтр, отделяющий полезный сигнал от помех поверхностных блуждающих токов.

Многие годы именно канал связи был основным препятствием практического использования измерений в процессе бурения. Он является главным решающим фактором, так как от него зависит конструкция телесистем, компоновка, информативность, надежность, удобство работы, а также условия прохождения сигналов и др.

Были исследованы различные каналы гидравлический, электромагнитный, акустический, электропроводный и многие другие (рис. 3.2).

В результате многолетних исследований и практического использования в реальных условиях бурения широкое применение нашли три канала связи:

- электропроводной ЭКС;
- гидравлический ГКС;
- электромагнитный ЭМКС.

У каждого из этих каналов связи имеются свои преимущества и свои недостатки. Разнообразие условий бурения, а также экономическая целесообразность определяют каждому каналу связи свою область применения. Особенно это подтверждается при бурении скважин в России и в странах СНГ.

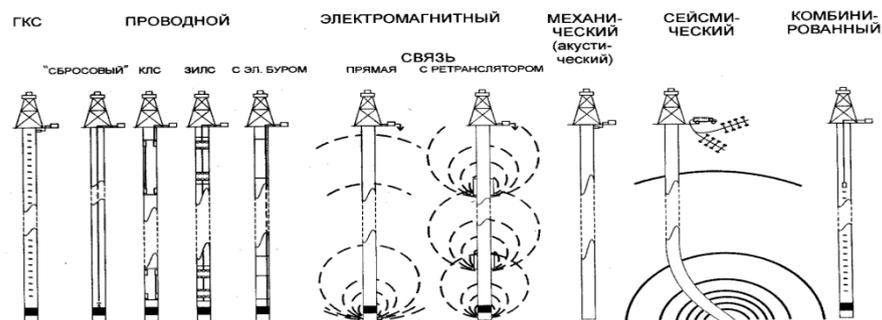


Рис. 3.2. Телеметрические каналы связи

Преимущества и недостатки каналов связи: Электропроводной канал связи в СССР в силу многих причин (геофизические исследования, инклинометрические работы осуществляются на электропроводном канале связи, налаженная инфраструктура, материальное обеспечение геофизических предприятий, электробурение) нашел значительное, но недостаточное применение (рис.3.3).

Этот канал обладает преимуществом перед всеми известными каналами связи - это максимально возможная информативность, быстродействие, многоканальность, помехоустойчивость, надежность связи; отсутствие забойного источника электрической энергии и мощного передатчика; возможность двусторонней связи; не требует затрат гидравлической энергии; может быть использован при работе с продувкой воздухом и с использованием азрированной промывочной жидкости.

Существует несколько разновидностей электропроводного канала связи: на трубах для электробурения; секционированных отрезках кабеля в каждой трубе (так называемых КЛС); «сбросовый»; ЗИЛС. В частности, «сбросовый» канал и применяется в телесистемах СТТ-Г64, СТТ-ЗП Харьковского СКТПБЭ, находящейся в эксплуатации в Западной Сибири и других регионах, а также СТТ-108 для малых диаметров.

Недостатки электропроводного канала связи:

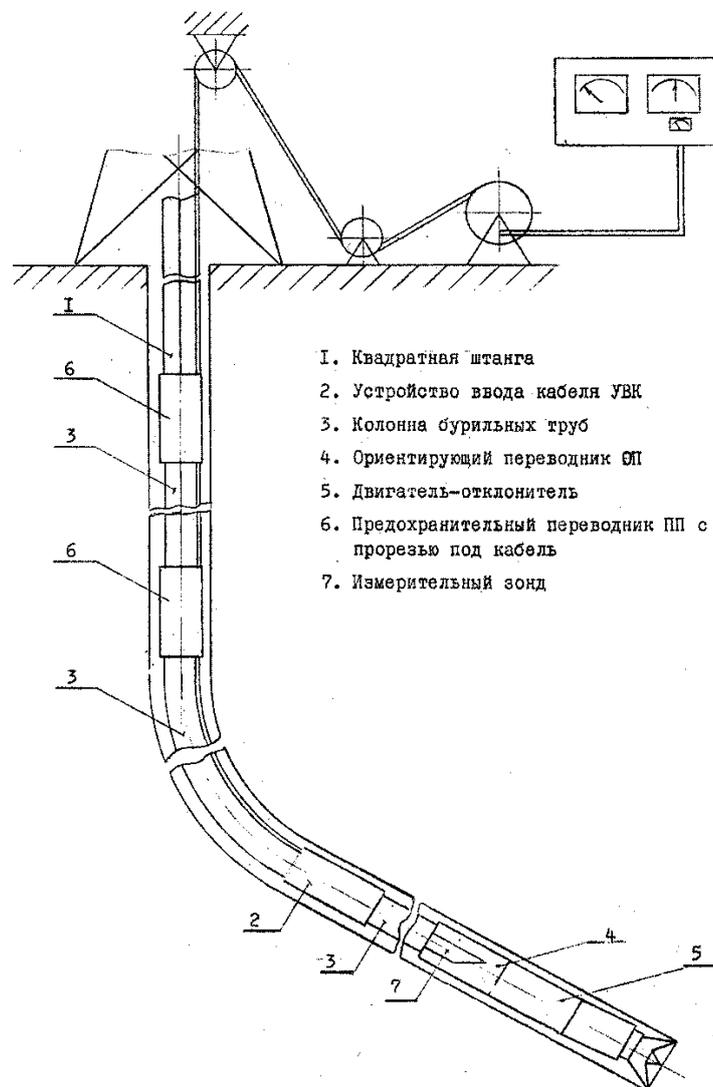


Рис. 3.3. Компоновка бурильного инструмента с ЭТО-2М в конце рейса долота.

- наличие кабеля в бурильной колонне и за ней, что создает трудности при бурении;
- затраты времени на его проложение;
- необходимость защиты кабеля от механических повреждений;
- невозможность вращения колонны;
- невозможность закрытия превентора при нахождении кабеля за колонной бурильных труб;
- необходимость доставки (продавки) забойного модуля или контактной муфты до места стыковки (посадки) при зенитных углах более 60 градусов с помощью продавочного устройства. (Здесь следует отметить, что имеются варианты проложения кабеля внутри труб через вертлюг, но в этом случае появляется необходимость в подъеме всего кабеля или отрезка кабеля при наращивании, что требует дополнительных затрат времени).

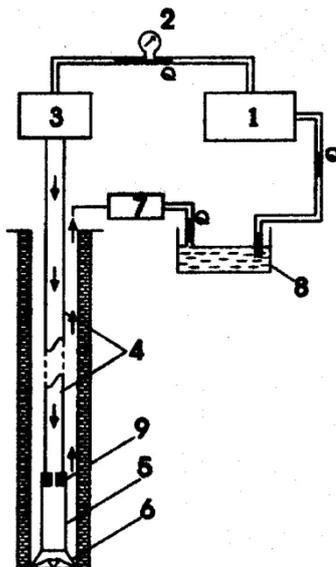


Рис. 3.4. Схема гидравлической линии связи: 1 – буровые насосы; 2 - первичный преобразователь давления; 3 – обвязка (манифольд, рукав, вертлюг, квадрат); 4 – колонна буровых труб; 5 – КНБК с телесистемой; 6 – долото; 7 – желоб; 8 – приемная емкость; 9 – клапан телесистемы (пультатор).

Вращение колонны также возможно, хотя для этого необходимо применять вращающийся токосъемник, устанавливаемый под вертлюгом. В зонах АВПД при наличии «выбросовой» ситуации и необходимости в закрытии превентора бурение ограничивается максимально возможным ходом инструмента вверх до достижения положения, когда кабель находится уже внутри колонны, а при варианте пропуска кабеля через вертлюг этой проблемы нет (рис.3.4).

Гидравлический канал связи ГКС. Исследования этого канала в нашей стране начаты при разработке гидротурботахометра ВНИИБТ еще в 50-х годах, а дальнейшее применение канал нашел при бурении Кольской сверхглубокой скважины СГ-3, где устойчивые сигналы о частоте вращения вала турбобура были получены с глубины более 12000 метров. Применяется в современных MWD зарубежных ведущих фирм «Teleco», «Schlumberger», «Sperry-sun», «Gearhart», «Eastman Christensen» и др.

Для генерирования импульсов давления в буровом растворе используются несколько способов (рис. 3.5). Они подразделяются на три вида: положительный импульс, отрицательный импульс и непрерывная волна (сирена).

Положительные импульсы генерируются путём создания кратковременного частичного перекрытия нисходящего потока бурового раствора.

Отрицательные импульсы давления создаются путём кратковременных перепусков части жидкости в затрубное пространство через боковой клапан.

Гидравлические сигналы, близкие к гармоническим (сирена), создаются с помощью электродвигателя, который вращает клапан пультатора, или дисковым клапаном гидротурботахометра типа ГТТ. Гидравлические импульсы (или волны) со скоростью в среднем 1250 м/с поступают по столбу бурового раствора на «дневную» поверхность. На поверхности закодированная различными способами информация декодируется наземной аппаратурой и отображается на табло, экране монитора, также поступает в другие устройства обработки информации.

В последние годы значительно сократилось время передачи данных. Если в системах первого поколения оно составляло 50 с для каждой точки, то в более новых - 25 с, а в некоторых из последних систем всего 10 с.

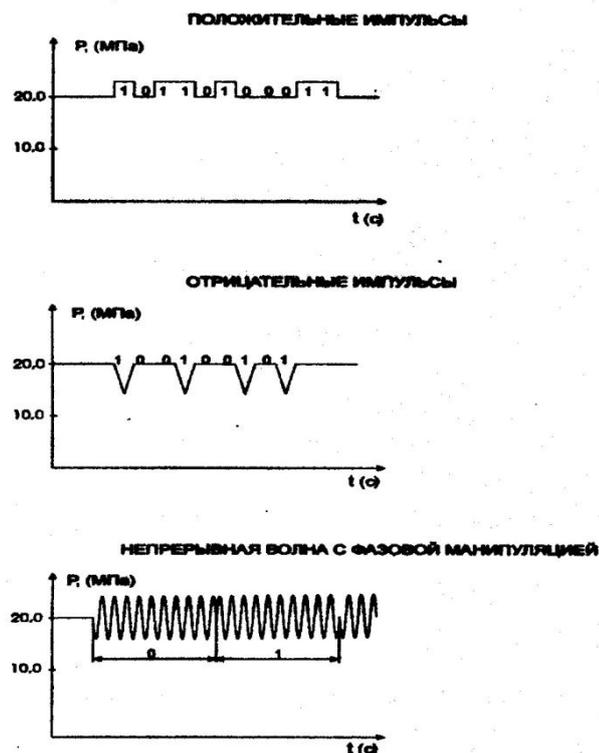


Рис. 3.5. Диаграммы гидравлических импульсов при различных способах их формирования

Энергия, необходимая для работы забойных систем, генерируется турбогенератором или обеспечивается литиевыми батареями, а также совмещенными источниками электропитания (аккумуляторы с подзарядкой от турбогенератора). Турбогенераторы, по сравнению с батареями, обеспечивают большие мощности и, следовательно, более высокие энергетические возможности для получения и передачи данных.

По мере увеличения числа датчиков в телесистемах, а также протяженности скважин, а значит повышения потребления энергии, турбогенераторы становятся особенно перспективными.

Одним из важных последних достижений в области совершенствования телеметрических систем являются модульные системы. Рассчитанные на максимальную эффективность и гибкость, эти системы более дешевы и экономичны в процессе эксплуатации по сравнению с любыми другими. Примером может служить телесистема фирмы «ТЕЛЕКС», которая имеет пять модульных вариантов, содержащих как пространственные датчики, так и датчики технологических и геофизических параметров, пристыковывающиеся к основному модулю в зависимости от потребности.

- 1) телесистема для передачи информации о зенитном угле (a), азимуте скважины (j) и положении отклонителя (Y);
- 2) телесистема для передачи информации о a , j , Y и гамма-каротажа;
- 3) телесистема для передачи информации о a , j , Y , гамма-каротажа и КС;
- 4) телесистема для передачи информации о a , j , Y , гамма-каротажа, нагрузке и моменте на долоте;
- 5) телесистема для передачи информации о a , j , Y и гамма-каротажа.

Всё оборудование такой системы имеет модульную конструкцию с полной совместимостью модулей, что даёт возможность приобретать его в любом наборе в виде отдельных секций или полностью комплект.

Предпочтение в применении телесистем с ГКС базируется как на относительной простоте осуществления связи по сравнению с другими каналами, так и на том, что этот канал не нарушает (по сравнению с ЭКС) технологические операции при бурении и не зависит от геологического разреза горных пород (по сравнению с ЭМКС), то есть от буровой бригады не требуется необычных операций.

Недостатки: низкая информативность из-за низкой скорости передачи, низкая помехоустойчивость, последовательность в передаче информации, необходимость в источнике электрической энергии (батареи, турбогенераторы), отбор гидравлической энергии для работы передатчика и турбогенератора, невозможность работы с продувкой воздухом и аэрированными жидкостями

Электромагнитный канал связи ЭМКС: используют электромагнитные волны (токи растекания) между изолированным участком колонны бурильных труб и породой. На поверхности земли сигнал принимается как разность потенциалов от растекания тока по горной породе между бурильной колонной и приемной антенной, устанавливаемой в грунт на определенном расстоянии от буровой установки. Разработкой телесистем с ЭМКС в России занимаются ВНИИ геофизических исследований скважин (ВНИИГИС), ВНИИ промысловой и полевой геофизики (ВНИИПГ) и другие.

Преимущества: несколько более высокая перед гидравлическим каналом информативность. Недостатки: дальность связи (зависит от проводимости и пережимаемости горных пород, затухания сигналов.), слабая помехоустойчивость, сложность установки антенны в труднодоступных местах, невозможность использования на море.

4. ПОНЯТИЯ И ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ БУРЕНИЯ.

4.1 КРИТЕРИИ АВТОМАТИЗАЦИИ БУРЕНИЯ.

Большую роль в развитии техники и технологии бурения скважин играют вопросы научного анализа и комплексного описания сложных процессов с позиции их организации и управления. При этом ставится вопрос о наиболее эффективных способах реализации цикла строительства скважин. В специальной литературе широко употребляется термин “оптимизация” и “оптимальность”, однако эти понятия зачастую используются в смысле рациональности или сравнительной эффективности, тогда как в современной науке эти термины имеют строгие определения и конкретный смысл.

Оптимальность системы и ее эффективность оценивается так называемым показателем эффективности, под которым обычно понимается критерий или параметр оптимизации (целевая функция) W .

Выбор решения сводится к тому, чтобы параметр оптимизации принимал максимальное (или минимальное) значение:

$W \rightarrow \max$, или $W \rightarrow \min$.

Критерий оптимизации является характеристикой преследуемой цели и определяет признак, по которому оптимизируется процесс.

К критерию оптимизации предъявляются следующие требования. Он должен:

- иметь ясный физический смысл;
- однозначно характеризовать объект оптимизации;
- технологически легко измеряться и выражаться количественно;
- с достаточной полнотой и универсальностью описывать объект оптимизации.

Если оптимизация осуществляется по одному критерию, то такие критерии называют частными, а задачи – однокритериальными.

Значения критерия оптимизации могут быть дискретными и непрерывными.

В области бурения скважин оптимизация обычно осуществляется в следующих направлениях:

- производительности процесса бурения;
- себестоимости работ;
- себестоимости продукции (нефти, газа, воды и т.п.);
- качества работ;
- безопасности работ;
- охраны окружающей среды.

Выделяют три основные группы критериев оптимизации:

- характеризующие мгновенные значения протекания процесса (механическая скорость бурения, скорость износа породоразрушающего инструмента);
- характеризующие средние значения протекания процесса в течение одного рейса (средняя механическая скорость, рейсовая скорость бурения, продолжительность рейса, углубление за рейс, износ породоразрушающего инструмента);
- характеризующие средние значения протекания процесса в течение бурения всей скважины (коммерческая скорость бурения, техническая скорость бурения, продолжительность бурения скважины, стоимость 1 м бурения).

Критерий максимальной механической скорости бурения. Критерий максимальной механической скорости бурения получил наибольшее распространение на практике, особенно при бурении нефтяных и газовых скважин. Так, для турбинного бурения, характерно наличие максимума механической скорости бурения при изменении осевой нагрузки из-за мягкой характеристики турбобура.

Производительность бурения можно оценивать по механической скорости бурения V_m , которая зависит от управляющих параметров, свойств горных пород и применяемого породоразрушающего инструмента:

$$V_m = dH/dt \quad (4.1)$$

где: H - углубление скважины, м; t - текущее время чистого бурения, с.

В общем виде можно записать:

$$V_m = V_m(P, n, Q, f, q), \quad (4.2)$$

где: P - осевая нагрузки на породоразрушающий инструмент; n - частота вращения; Q - расход очистного агента; f - свойства горных пород, влияющие на буримость; q - степень износа породоразрушающего инструмента; q_n и q_z могут изменяться от 0 до 1.

Использование формулы (4.1) в практических целях невозможно, поскольку мгновенное значение V_m изменяется по гармоническим законам. Этому недостатка можно избежать, увеличив интервал измерения H и t и производить расчет по формуле:

$$V_m = \Delta H/\Delta t, \quad (4.3)$$

где: ΔH - углубление скважины за время Δt . Для крепких пород $\Delta H=0,3 \div 0,5$ м, для мягких и пород средней твердости $\Delta H=1 \div 2$ м.

Критерий достаточно прост, но не учитывает углубление за рейс. Возможно, что более высокая механическая скорость окажется менее предпочтительной перед вариантом, при котором будет большее углубление за рейс.

Критерий максимальной механической скорости используется в тех случаях, когда нет ограничений на величину углубления за рейс и стоимость породоразрушающего инструмента невелика.

Критерии максимальной сменной и коммерческой скорости бурения. Под критерием сменной скорости бурения $V_{см}$ понимается отношение выработки за смену $h_{см}$ к сумме производительного $T_{см,пр}$ и непроизводительного $T_{см,н}$ времени в течение смены:

$$V_{см} = h_{см} / (T_{см,пр} + T_{см,н}) = h_{см} / T_{см}, \quad (4.4)$$

Критерий $V_{см}$ не всегда дает объективную оценку сменной скорости. Например, 1-я бригада провела за смену спуск-бурение-подъем-спуск, 2-я бригада за следующую смену провела бурение-подъем-спуск-бурение. В такой ситуации сложно определить производительность каждой бригады. Поэтому более приемлемым следует считать критерий максимальной коммерческой скорости бурения при бурении всей скважины:

$$V_k = (H_{пр} - H_{нач}) / (T_{пр} + T_n), \quad (4.5)$$

где: $H_{пр}$ - проектная глубина (отметка) скважины; $H_{нач}$ - начальная отметка скважины; $T_{пр}$ - суммарные производительные затраты времени на бурение; T_n - суммарные непроизводительные затраты времени при бурении скважины.

Необходимым условием достижения максимальной коммерческой скорости бурения является минимизация времени бурения, т.е. необходима такая стратегия сооружения скважины, при которой

$$T_{пр} + T_n \rightarrow \min.$$

Если полагать, что продолжительность непроизводительных операций уже минимизирована, максимальная коммерческая скорость бурения скважины достигается при минимальных затратах производительного времени

$$V_k = \frac{H_{пр}}{T_{пр, \min} + T_{n, \min}}, \quad \text{или}$$

$$V_k = \frac{V_{р.ск}}{1 + \frac{T_n}{H_{пр}} V_{р.ск}}$$

где: $V_{р.ск} = H_{пр} / T_{пр}$ - средняя рейсовая скорость бурения по скважине.

Из последнего соотношения ясно, что скорость бурения V_k увеличивается с возрастанием рейсовой скорости по скважине для различных соотношений непроизводительного времени T_n и проектной глубины скважины $H_{пр}$. Чем меньше соотношение $T_n / H_{пр}$, тем выше скорость бурения по мере роста средней рейсовой скорости по скважине.

С точки зрения управления процессом бурения безразлично, что принимать за критерий управления $\max V_k$, $\min T_{пр}$ или $\max V_{р.ск}$ при минимизированном времени непроизводительных работ $T_{н, \min}$.

Критерий минимальной продолжительности бурения скважины (T - критерий). Процесс бурения скважины носит дискретный характер, поскольку наряду с углублением необходимо выполнять и другие операции: замену бурового инструмента, извлечение керна из колонковой трубы, промывку скважины и пр., что вносит определенные трудности при решении задачи о минимизации продолжительности сооружения скважины.

Оптимизация заключается в отыскании наилучшей стратегии бурения, обеспечивающей минимум функционала t_{Σ} :

$$t_{\Sigma} = \Phi\left\{h[U(t), f(H), t]\right\}, \quad (4.6)$$

где: t_{Σ} - производительное время бурения скважины (чистое бурение, спуско-подъемные и вспомогательные операции); h - вектор с компонентами $h_1, h_2, \dots, h_k, \dots, h_m$ (h_k - углубление в k -ом рейсе); $U(t)$ - управляющие параметры (осевая нагрузка p и частота вращения n (сюда также можно отнести подачу и свойства очистного агента, конструктивные особенности бурового инструмента); $f(H)$ - физико-механические свойства разбуриваемых горных пород; H - текущая глубина скважины; t - текущее время, отсчитываемое от начала каждого рейса

Если сравнить критерий $V_{p.max}$ и T -критерий, то видно, что они сближаются при большой интенсивности износа инструмента и малой начальной скорости бурения.

Квазиоптимальный критерий постоянных проходок (h_c -критерий). Критерий постоянных проходок h_c в однородных проходках позволяет получать результаты, близкие к глобальному оптимуму при малых интенсивностях износа инструмента и при увеличении начальных скоростей бурения, где критерий $V_{p.max}$ не дает хорошего приближения к глобальному оптимуму. Использование критерия h_c более целесообразно при небольших глубинах бурения (250 ÷ 500 м) и в сравнительно некрепких и малообразивных породах, для которых значение k незначительно. При этом выигрыш по времени возрастает при увеличении V_0 и уменьшении k , если сравнивать данные по h_c - критерию с данными по критерию $V_{p.max}$.

Из многих технологических ситуаций, возникающих при углубке скважины, следует выделять те, которые требуют целенаправленного воздействия на режим бурения. К ним относятся ситуации, вызванные технологическими особенностями: передачи осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент, износом алмазного инструмента, динамикой работы колонны бурильных труб, промывкой скважины, состоянием забоя скважины и физико-механическими свойствами горных пород. Контроль указанных ситуаций можно осуществлять с использованием диаграмм потребляемой мощности. Ниже приведены рекомендации по распознаванию и контролю процесса алмазного бурения. Резкие падения мощности в конце хода шпинделя станка и подъем в начале его хода отражают операцию перекрепления. Время между перекреплениями при известной длине хода шпинделя станка характеризует механическую скорость бурения.

В разведочном бурении стоимость 1 м. также определяет оптимальность процесса. Кроме того, при определении оптимальности используют критерии наибольшей скорости, максимальной производительности бурового станка, минимального времени проходки скважины.

Критерий минимальной стоимости 1 м бурения, как главный показатель оптимальности процесса проходки скважины, определяет наименьшую сумму всех производственных затрат, приходящуюся на 1 м скважины. Реализация этого критерия на практике с помощью автоматических устройств представляет пока определенные трудности, так как нет зависимостей вида:

$$C = \Phi(x_1, x_2, x_3, \dots, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3),$$

где: C - стоимость 1 м скважины; x - управляемые факторы; α - неуправляемые факторы.

К управляемым факторам относят осевую нагрузку, частоту вращения, количество и качество промывочной жидкости и некоторые другие, поддающиеся регулировке и контролю, к неуправляемым - износ породоразрушающего инструмента, устойчивость стенок скважины, технологические осложнения и авариями, и т.п.

Критерий максимальной механической скорости может быть реализован путем регулирования параметров бурения: осевой нагрузки P , частоты вращения n , расхода Q и качества промывочной жидкости (или другого очистного агента), если известна зависимость

$$V = \varphi(P, n, Q, f, q),$$

где: V - механическая скорость бурения; f' - аргумент, отражающий механические свойства горной породы; q - характеристика породоразрушающего инструмента (форма, острота, прочность и т.д.).

Этот критерий имеет наибольшее практическое значение при автоматизация глубокого бурения на твердые полезные ископаемые. Это объясняется простотой описания цели управления, что облегчает задачи выбора измерительной техники и преобразования информации в исполнительные действия сервоприводов.

Критерий оптимума по минимальному времени проходки скважины действует в том случае, если осуществляется ускоренная проходка скважины. Очевидно, что этот критерий может не совпадать с основным – по минимальной стоимости 1 м. бурения и имеет значение для экономической оценки буровых работ. Однако, он мало пригоден для непосредственного использования в автоматизации бурения из-за отсутствия математических зависимостей, пригодных для описания задач управления.

Следует сказать, что из всех критериев практически используется только критерий максимальной механической скорости, который отражает наиболее полно задачи управления процессом бурения и дает возможность его математического моделирования.

Для реализации любого критерия необходимо установить параметры управления, которые связаны с ним математической зависимостью. Параметрами автоматического регулирования являются такие технологические параметры бурения, с помощью которых достигается поставленная цель управления процессом бурения.

При бурении, в особенности глубоком, универсальным параметром управления считается осевая нагрузка на забой. Это объясняется тем, что при всех существующих способах вращательного глубокого бурения, любое изменение осевой нагрузки на долото влияет на показатели его работы. При этом метод установления нагрузки определяется принятым критерием оптимальности режима бурения.

Так, например, при поддержании осевой нагрузки, соответствующей максимальной скорости бурения, реализуется критерий максимальной механической скорости бурения. При нагрузке, достигающей наибольшей проходки на долото, бурение будет вестись с наиболее эффективным использованием породоразрушающего инструмента. Выбранная же соответствующим образом средняя нагрузка приведет к режиму с максимальной рейсовой скоростью.

Контроль изменения фактической осевой нагрузки.

Изменение фактической осевой нагрузки (т.е. действующей на забое) на алмазную коронку происходит из-за ошибок бурильщика при осуществлении подачи бурового снаряда в скважине или при сбоях в работе механизма подачи. Фактическая осевая нагрузка изменяется после закрепления шпинделя станка. Контролировать эту ситуацию по указателю нагрузки станка невозможно, так как разовое приращение осевой нагрузки находится в пределах точности измерений. Источниками информации об изменении фактической осевой нагрузки являются различные уровни потребляемой мощности и механической скорости при бурении на глубину, равную длине шпинделя станка, отраженных на диаграмме. При осуществлении подачи бурового снаряда бурильщик должен соблюдать необходимый стабильный уровень мощности и механической скорости бурения.

Зависание бурового снаряда происходит в конце хода шпинделя из-за непараллельности штоков гидроцилиндров, недостаточного ослабления страховочного троса у станков шпиндельного типа и при заедании ведущей трубы во вкладыше у станков роторного типа. Характерными признаками зависания бурового снаряда является интенсивное уменьшение мощности с последующим падением механической скорости. Зависание ликвидируют дополнительным усилием подачи, обеспечивающим сохранение рабочего уровня мощности до конца хода шпинделя.

Избыточные осевые нагрузки возникают в результате неправильного закрепления шпинделя или при проскальзывании ведущей трубы в патронах вращателя. Ситуация

распознается по более высокому (чем рабочий) уровню мощности в начале хода шпинделя или в момент проскальзывания, и не устраняется регулированием параметров режима бурения, а нормализуется правильным перекреплением шпинделя станка и содержанием механизма зажима ведущей трубы в исправном состоянии.

Постепенное уменьшение осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент происходит при превышении скорости утолстки над скоростью продвижения шпинделя вниз. Ситуацию распознают по наклонно убывающему характеру записи изменения мощности в течение хода шпинделя.

Механическая скорость может быть постоянной или уменьшаться, но, как правило, остается высокой. Ситуацию устраняют уменьшением усилия подачи в начале хода шпинделя с последующей его корректировкой, обеспечивающей постоянный уровень затрат мощности.

Другими параметрами при различных видах бурения являются: мощность на вращателе, вращающий момент, частота вращения, скорость подачи инструмента.

4.2. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ (САУ) И РЕГУЛИРОВАНИЯ (САР).

По закону воспроизведения (изменения) регулируемой величины замкнутые системы регулирования делятся на три вида: *системы стабилизации, системы программного регулирования, следящие системы.*

Отличаются они друг от друга не принципиально, а лишь режимом работы и конструктивно. Они имеют общую теорию и исследуются одинаковыми методами.

Система стабилизации - это система поддержания постоянства регулируемой величины. Рассмотренные выше системы относятся к системам стабилизации.

В системах программного регулирования регулируемая величина должна изменяться по заранее известной программе во времени.

Следящая система. Здесь регулируемая величина изменяется по неизвестному произвольному закону. Закон определяется некоторым внешним задающим воздействием (произвольно).

В зависимости от характера регулирующего воздействия на исполнительный элемент системы автоматического регулирования подразделяются на системы непрерывного, импульсного и релейного регулирования.

В системах непрерывного регулирования сигналы на выходе всех элементов системы являются непрерывными функциями сигналов на входе элементов.

Системы импульсного регулирования отличаются тем, что в них через определенные промежутки времени происходит размыкание и замыкание контура регулирования специальным устройством. Время регулирования делится на импульсы, в течение которых процессы протекают так же, как и в системах непрерывного регулирования, и на интервалы, в течение которых воздействие регулятора на систему прекращается. Такие регуляторы применяются для регулирования медленно протекающих процессов (регулирование температуры в промышленных печах, температуры и давления в котлах).

В системах *релейного* регулирования размыкание контура регулирования производится одним из элементов системы (релейным элементом) в зависимости от внешнего воздействия.

В зависимости от результатов, получаемых при автоматическом регулировании, различают два вида автоматического регулирования: статическое и астатическое.

Статическим называется такое автоматическое регулирование, при котором регулируемая величина при различных постоянных внешних воздействиях на объект регулирования принимает по окончании переходного процесса различные значения, зависящие от величины внешнего воздействия (например, нагрузки).

На рис. 4.1, а представлен регулятор уровня воды в баке. В регуляторе уровня воды при увеличении расхода воды i уровень снижается, через поплавков и рычаг открывается задвижка, приток возрастает и наоборот.

Система статического регулирования имеет следующие характерные свойства:

- равновесие системы возможно при различных значениях регулируемой величины;
- каждому значению регулируемой величины соответствует единственное определенное положение регулирующего органа.

Для осуществления такой связи между датчиком и исполнительным Элементом контур регулирования должен состоять из так называемых статических звеньев, у которых в состоянии равновесия выходная величина однозначно зависит от входной: $x_{ex} = f(x_{ex})$. К приведенному примеру регулятора объяснение свойств следующее: расход воды q равен притоку q_1 , при каком-то строго определенном, своём уровне H ; изменится расход, изменится уровень, приток будет равен расходу – и опять наступит равновесие.

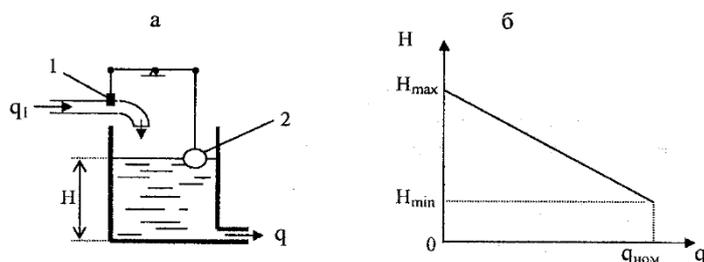


Рис. 4.1. Статический регулятор уровня воды прямого действия: а – схема регулятора; б – характеристика регулятора: 1 – задвижка; 2 – поплавок.

Регулятор, осуществляющий статическое регулирование, называется *статическим* регулятором.

Для характеристики степени зависимости отклонения регулируемой величины от нагрузки в теории регулирования пользуются понятием *неравномерности*, или *статизма* регулирования. Статический регулятор поддерживает не строго постоянное значение регулируемой величины, а с ошибкой, которая называется статической ошибкой системы. Таким образом, *статизм* регулирования - это относительная статическая ошибка при изменении нагрузки от холостого хода до номинальной.

В некоторых системах статическая ошибка (даже если и сотые доли процента) нежелательна, тогда переходят к регулированию, при котором она равна нулю - к астатическому регулированию. Характеристика регулирования такой системы представляется линией, параллельной оси нагрузки.

Астатическим называется автоматическое регулирование, при котором при различных постоянных значениях внешнего воздействия на объект отклонение регулируемой величины от заданного значения по окончании переходного процесса становится равным нулю.

В астатическом регуляторе уровня H воды в баке (рис.4.2) поплавок перемещает ползунок реостата в ту или иную сторону в зависимости от изменения уровня от заданного значения, тем самым запитывает двигатель, управляющий положением заслонки. Выключен двигатель будет тогда, когда уровень воды достигнет заданного значения.

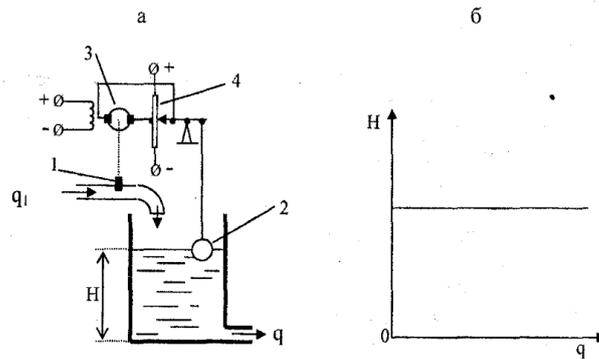


Рис. 1.5 Астатический регулятор уровня воды непрямого действия: а – схема регулятора; б – характеристика регулятора; 1- задвижка; 2 – поплавок; 3 – электродвигатель постоянного тока; 4 – реостат.

Система астатического регулирования имеет следующие характерные особенности:

- равновесие системы имеет место только при одном значении регулируемой величины, равном заданному;
- регулирующей орган имеет возможность занимать различные положения при одном и том же значении регулируемой величины.

В реальных регуляторах первое условие выполняется с некоторой погрешностью. Для выполнения второго условия в контур регулирования вводится так называемое астатическое звено. В приведенном примере двигатель, обладающий тем свойством, что при отсутствии напряжения его вал неподвижен в любом положении, а при наличии напряжения - непрерывно вращается. В зависимости от источника энергии, получаемой регулятором, различают прямое и не прямое регулирование.

В системах прямого регулирования энергия для перестановки управляющего элемента получается от датчика (как пример - статический регулятор уровня воды). В системах непрямого регулирования энергия для перестановки управляющего элемента получается от постороннего источника (пример - астатический регулятор уровня воды).

Системы автоматического регулирования с несколькими регулируемыми величинами (например, давление пара в котле, подача воды в котел, подача топлива и воздуха в топку) подразделяются на системы несвязанного и связанного регулирования.

Системами несвязанного регулирования называются такие, в которых регуляторы, предназначенные для регулирования различных величин, не связаны друг с другом и могут взаимодействовать только через общий для них объект регулирования. Если в системе несвязанного регулирования изменение одной из регулируемых величин влечет за собой изменение других регулируемых величин, то такая система называется зависимой; и если не влечет, то система называется независимой.

Системами связанного регулирования называются такие, в которых регуляторы различных регулируемых величин связаны друг с другом и помимо объекта регулирования.

Система связанного регулирования называется автономной, если связи между входящими в ее состав регуляторами таковы, что изменение одной из регулируемых величин в процессе регулирования не вызывает изменения остальных регулируемых величин.

Замкнутые системы автономного регулирования, имеющие только одну (главную) обратную связь, называются *одноконтурными*. Системы автоматического регулирования, имеющие помимо одной главной обратной связи еще одну или несколько главных или местных обратных связей, называются *многоконтурными*.

В зависимости от вида характеристик элементов, из которых состоят системы, все системы делятся на линейные и нелинейные.

Линейными называются системы, которые состоят только из элементов, имеющих линейные характеристики; переходные процессы в таких элементах описываются линейными дифференциальными уравнениями.

Нелинейными называются системы, которые имеют один или несколько элементов с нелинейными характеристиками; переходные процессы в таких системах описываются нелинейными дифференциальными уравнениями.

При классификации по виду используемой энергии все системы подразделяют на: электрические, гидравлические, пневматические, электрогидравлические, электропневматические и т.д.

В зависимости от числа регулируемых величин системы автоматического регулирования (САР) подразделяются на: *одномерные, двухмерные, многомерные.*

Многомерные САР могут быть системами *несвязанного* и *связанного* регулирования, которая может быть автономной.

4.3. Классификация систем автоматического управления (САУ) по информационному признаку.

Информация - любая совокупность сведений, первичным источником которых является опыт.

Информация может быть *начальной* (априорной) и *рабочей*.

Начальные сведения - это те сведения, которые нужны, например, для проектирования системы.

Необходимой начальной информацией называется совокупность сведений об управляющем процессе и управляющей системе, необходимых для построения и функционирования данной САУ и имеющиеся в нашем распоряжении до начала функционирования (постоянная времени, качество регулирования и т.д.).

Рабочей информацией называется совокупность сведений о состоянии процесса, используемых в самом процессе управления.

По виду начальной информации все САУ делятся на три класса: *обыкновенные, самонастраивающиеся и игровые.*

Обыкновенные САУ выполняются с полной начальной информацией.

По виду рабочей информации обыкновенные САУ делятся на: *замкнутые* САР, использующие принцип отклонения, и *разомкнутые*. Первые из них в качестве рабочей информации используют величину отклонения, вторые - не используют. Если в качестве рабочей информации взять задающее (управляющее) воздействие, то можно разделить на следящие, программные и стабилизации.

Разомкнутые САУ по виду рабочей информации делятся на два класса:

- *системы компенсации*, в которых в качестве рабочей информации принимаются сведения об изменяющейся нагрузке. В разомкнутых системах программного управления рабочая информация хранится в специальных (запоминающих) устройствах. В качестве этой информации берется программа действия разомкнутой системы управления, программа последовательности действия.

- *самонастраивающиеся САУ*. Известны все параметры самой системы, а сведения об управляющем процессе неполные. Такие системы приспособляются к изменяющейся обстановке, к изменению характеристик процесса.

Системы экстремального регулирования поддерживают значение регулируемой величины на экстремуме (максимум или минимум) путем подачи поисковых сигналов.

В системах с самонастраивающимися (перестраивающимися) Устройствами параметры или структура автоматически изменяются в зависимости от управляющих и возмущающих воздействий.

5. НАЗЕМНЫЕ И ЗАБОЙНЫЕ АВТОМАТЫ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН.

Критерии оптимизации процессов бурения реализуются на практике с помощью систем автоматического управления. Под ними понимается большая группа различного типа устройств, предназначенных для автоматического регулирования управляющих параметров с целью достижения того или иного критерия оптимизации процесса бурения. К САУ относят поверхностные регуляторы подачи долота (бурового инструмента) и забойные автоматы и механизмы.

5.1. ПОВЕРХНОСТНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ ПОДАЧИ БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА НА ЗАБОЙ.

Поверхностные регуляторы подачи условно можно разделить на две подгруппы: первые предназначены для управления свободной подачей с лебедки станков и установок, главным образом, глубокого бурения, вторые - для управления гидравлической подачей шпиндельных буровых станков. Кроме того, по виду действия различают активные и пассивные регуляторы. Первые включают достаточно мощные электроприводы, обеспечивающие не только подачу тяжелого бурового инструмента вниз, но и его приподъем (реверс). Вторые производят только подачу, используя вес бурильной колонны.

В комплект оборудования буровых установок для глубокого бурения грузоподъемностью от 800 до 2000 кН входит автоматический регулятор подачи долота РПДЭ-3 (рис. 5.1), включающий в себя станцию управления; силовой узел с двигателем постоянного тока, мотор-генератор, лебедку, датчик веса и пульт. В зависимости от оснастки талевого системы и передаточного числа редуктора, он производит подачу со скоростями от 45 до 90 м/ч и обеспечивает точность поддержания осевой нагрузки на долото до +10 кН.

Приводом подачи регулятора является двигатель постоянного тока мощностью 25-42 кВт, питающийся от электромашинного преобразователя с генератором постоянного тока мощностью 27-50 кВт и приводным трехфазным двигателем переменного тока мощностью 28-55 кВт.

Величина и знак напряжения на клеммах питающего генератора меняются в зависимости от сигнала электрического датчика ДВР-2Б, поступающего через трехфазные магнитные усилители с обратной связью в обмотки возбуждения генератора.

Датчик устанавливают на неподвижном конце талевого системы. Натяжение конца передается на пластинчатую рессору, которая, прогибаясь, поворачивает ротор передающего сельсина датчика, что вызывает поворот ротора приемного сельсина и изменение электрического сигнала. Таким образом, электросхема РПДЭ-3 позволяет осуществлять подачу и приподъем инструмента в зависимости от осевой нагрузки на забой. При необходимости датчик может быть отключен и РПДЭ-3 установлен на определенную, выбранную бурильщиком, скорость подачи или подъема (например, при разбуривании или проработке ствола скважины).

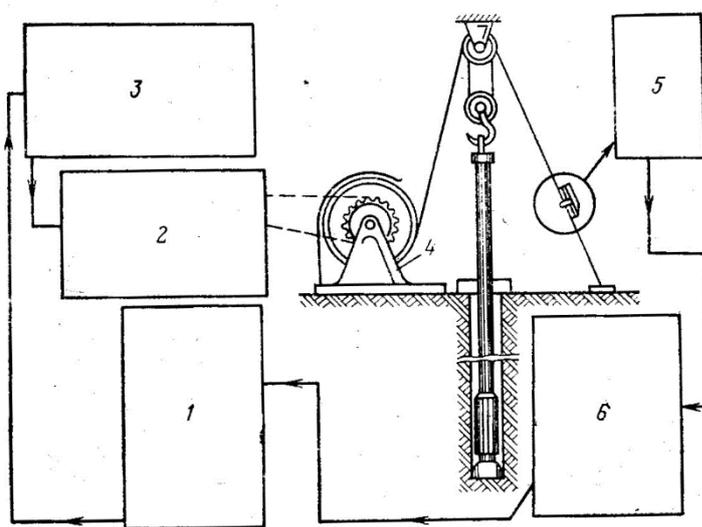


Рис. 5.1. Автоматический регулятор подачи долота РПДЭ-3:

1 - станция управления; 2 - силовой узел с двигателем; 3 - мотор-генератор; 4-лебедка; 5- датчик веса; 6-пульт.

Недостатком автоматов типа РПДЭ-3 является их большая масса (2,5-3 т), мощность и громоздкость конструкции, что объясняется наличием реверса подачи. Как

показал опыт эксплуатации этих и подобных им активных устройств, реверс подачи на практике почти не нужен, а иногда вследствие рассогласования действий в системе автомат - буровая колонна - турбобур даже вреден.

К типу активных регуляторов подачи долота относится также буровой автоматический регулятор БАР с дифференциальным редуктором, эффективно используемый при глубинах бурения до 3000-3500 м. Его основой является дифференциальный редуктор (рис 5.2).

Работает дифференциальный редуктор (рис. 5.2) следующим образом. Коническая шестерня 3 вращается с постоянной скоростью от асинхронного двигателя А через шестерни 1 и 2, а шестерня 6 в противоположную сторону от электродвигателя постоянного тока Д через зубчатые колеса 4 и 5. Двигатель Д питается от генератора постоянного тока Г, установленного на одном валу с асинхронным двигателем А. Конические шестерни связаны между собой сателлитами, вращающимися в цапфах водила, которое связано зубчатой передачей и со звездочкой, соединенной цепной передачей с валом лебедки. При одинаковой частоте вращения конических шестерен водило, а вместе с ним и звездочка остаются неподвижными. Шестерни, водило и звездочка поворачиваются в ту или другую сторону, осуществляя подачу или приподъем инструмента. Изменение частоты вращения шестерни 6 осуществляется путем воздействия на цепь возбуждения машин постоянного тока Г и Д, зависящего от сигнала датчика осевой нагрузки или сопротивления в цепи, установленного бурильщиком.

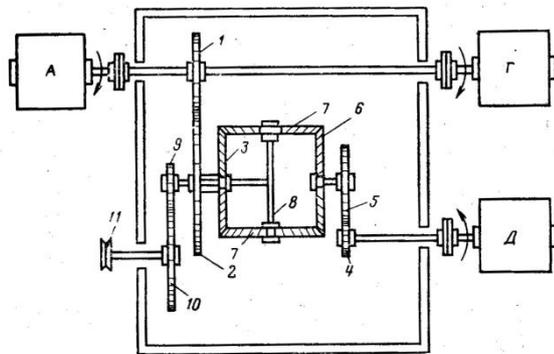
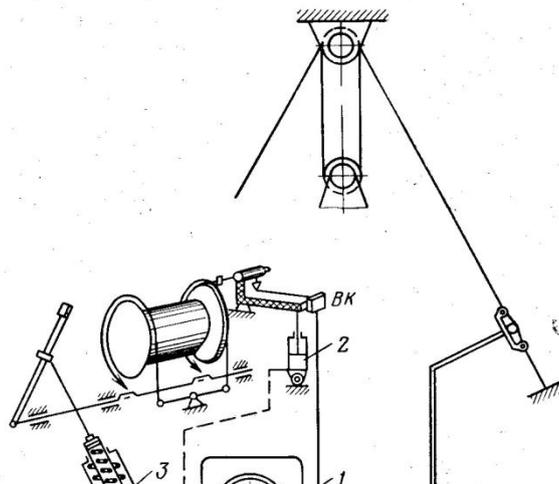


Рис. 5.2. Кинематическая схема дифференциального редуктора:

1 и 2—зубчатая передача; 4 и 5 — зубчатая передача; 3 и 6 — конические шестерни; 7 - сателлиты; 8 - водило; 9 и 10 - зубчатые колеса, 11 —звездочка.

Автомат подачи долота типа СВМ (стабилизатор веса) относится к пассивным регуляторам, использующим тормозную систему лебедки (рис. 5.3). Устройство, предназначенное для автоматической дискретной подачи бурового инструмента при турбинном и роторном способах бурения, поддерживает постоянную величину заданной осевой нагрузки на долото.

Автомат типа СВМ состоит из трех основных узлов: исполнительного пневматического пружинно-поршневого механизма подачи, соединяемого с рукояткой ленточного тормоза буровой лебедки; пульта управления и механизма обратной связи по скорости подачи.



На пульте установлен электроконтактный манометр ЭКМ, связанный гидравлически с трансформатором давления на неподвижном конце каната. При уменьшении осевой нагрузки ниже заданной стрелка манометра замыкает соответствующие контакты электросхемы и в цепь соленоидов сначала аварийного, а затем рабочего электроклапанов подается ток. Клапаны открываются и пропускают сжатый воздух в цилиндр исполнительного механизма.

Поршень, сжимая пружину, приподнимает тормозную рукоятку, растормаживая барабан лебедки. Поворачиваясь, барабан вращает тахогенератор механизма обратной связи. Возникает сигнал, встречный по напряжению с источником питания реле включения соленоида рабочего клапана. Когда напряжения сигнала и питания сравниваются, реле выключается, рабочий клапан закрывается и барабан лебедки затормаживается. С этого момента вращение тахогенератора замедляется, напряжение сигнала уменьшается, реле снова включает цепь соленоида рабочего клапана и т.д. Подача осуществляется импульсами до тех пор, пока вес инструмента не сравняется с заданной нагрузкой на забой.

В случае превышения осевой нагрузки на 30-50 кН стрелка ЭКМ замыкает контакты, выключающие реле соленоида аварийного клапана. При этом выключаются одновременно оба клапана. Электросхема СВМ обеспечивает также прекращение подачи при обрыве цепи тахогенератора или превышении заданной скорости подачи. К преимуществам автомата типа СВМ относят простоту его конструкции, компактность, отсутствие дополнительных потребителей энергии.

Используются и другие автоматы подачи долота для глубокого бурения, принципиально подобные СВМ, но отличающиеся от последнего видом обратной связи. Так, автомат подачи типа АСВ имеет дополнительную гидравлическую обратную связь по скорости подачи с целью компенсации нелинейности коэффициента трения тормозной системы лебедки при переменных скоростях подачи и улучшения равномерности подачи бурильного инструмента. Применяется автомат подачи по сигналам гидротурботачометра (ГТН) как обратной связи скорости подачи с частотой вращения турбобура, передаваемых от забойного датчика на пульт сравнения и управления лебедкой. Известна также автоматическая система регулирования подачи по гидравлическим характеристикам турбины, то есть зависимости перепада давления на турбобуре от скорости его вращения. В этом случае сигналом обратной связи является изменение давления рабочей жидкости в стояке. Были попытки использовать в качестве регулятора подачи порошковый электромагнитный тормоз, который обычно служит как вспомогательный. При этом бурильщик по показаниям гидравлического индикатора веса (ГИВ) выбирает и устанавливает такой ток возбуждения электромагнитной муфты тормоза, при котором тормозной момент обеспечит плавную подачу инструмента и постоянную осевую нагрузку на забой с точностью $+10$ кН.

При сравнительно небольших глубинах бурения (до 2000-2500 м) возможно использование автоматических систем поддержания $V_m = \max$ (здесь V_m - механическая скорость бурения). Суть

таких устройств для оперативного управления процессом бурения ротором, турбобуром и электробуром состоит в непрерывном контроле V_m , t , P и момента вращения M , в результате чего бурильщик получает сведения о величине осевой нагрузки $P_{эф}$ для поддержания оптимального режима, необходимости повторения поиска эффективной нагрузки на долото, полном износе долота по вооружению или опоре, требующем его замены. К таким устройствам относится СКУ-3, позволяющее находить $P_{эф}$ для $V_m = max$ по наибольшему значению dP/dt , постепенно уменьшая возможное P_{max} . Такого же типа автомат-оптимизатор АОПД, отличающийся от предыдущего устройства-советчика тем, что он самостоятельно, с помощью электромашинного регулятора подачи, автоматически отыскивает режим, соответствующий критерию, и его поддерживает.

Указанные устройства разработаны в основном для турбинного способа бурения и действия по критерию $V_m = max$, эффективному только для бурения неглубоких скважин.

Для скважин различной глубины, включая сверхглубокие, создана компьютеризированная станция контроля и автоматической оптимизации бурения (САОБ) роторным и турбинным способами. Она позволяет автоматически контролировать процесс бурения, выбирать его оптимальный режим, диагностировать осложнения, давать геологическую оценку вскрываемых пластов и документировать необходимую информацию. САОБ включает вычислительный комплекс, принимающий до 32 входных сигналов от датчиков буровой установки и выдающий 156 автоматически контролируемых параметров, и состоит из рабочего и бытового модулей. Размер каждого модуля 6 x 8, масса не превышает 5 т.

Для станков геолого-разведочного бурения со свободной подачей разработаны и применяются устройства подачи пассивного действия, использующие тормозную систему лебедки. Согласно функциональной блок-схеме частотно-импульсной системы авторегулирования с электрогидравлическим клапаном (рис. 5.4) от датчика на элемент сравнения поступает текущая информация о величине осевой нагрузки. Сигнал рассогласования $P = P_{зад} - P_{тек}$ передается на вход частотно-импульсного модулятора ЧИМ, где преобразуется в последовательность импульсов, период следования которых меняется с изменением сигнала рассогласования. Каждый импульс этой последовательности является управляющим и поступает на катушку электромагнитного регулятора в нагнетательной магистрали питания гидроцилиндра тормоза лебедки. При отсутствии управляющего импульса масло, нагнетаемое маслонасосом, поступает через сливное отверстие электромагнитного регулятора обратно в масляный бак, а тормоз буровой лебедки замыкается пружиной, расположенной в гидроцилиндре.

С поступлением управляющего импульса слив масла прекращается, и оно подается под поршень гидроцилиндра. Лебедка растормаживается, и снаряд начинает перемещаться. Практика показала, что подачу удобнее регулировать изменением частоты импульсов при их минимальной длительности.

Подача инструмента осуществляется до момента, когда сигнал рассогласования достигнет порога нечувствительности. При этом частота следования импульсов уменьшается с уменьшением сигнала, чем достигается обратно пропорциональная связь подачи с осевой нагрузкой. При отсутствии сигнала на входе ЧИМ все масло идет на слив и лебедка остается заторможенной.

Аварийная защита системы АЗ представляет собой нуль-орган. При достижении осевой нагрузкой величины, при которой $P_{тек} = P_{огр}$, аварийная защита срабатывает, закорачивая катушку электромагнита. Канал слива открывается, и лебедка затормаживается.

Кроме импульсной системы подачи разработана также система авторегулирования осевой нагрузки с непрерывной подачей, в которой в качестве исполнительного двигателя применен шаговый. Он по импульсным сигналам управляет подачей масла в гидроцилиндр.

Вместе со станками ЗИФ-1200 при бурении со свободной подачей применяется автоматический регулятор подачи АРП, предназначенный для плавной подачи и изменения осевой нагрузки на забой в зависимости от физических свойств проходимых горных пород.

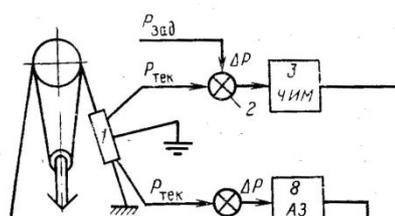


Рис. 4.4. Функциональная блок-схема частотно-импульсной системы автоматического регулирования осевой нагрузки с электрогидравлическим клапаном: 1 - датчик; 2 - элемент сравнения; 3 – частотно-импульсный модулятор; 4 – электромагнитный регулятор; 5 – гидроцилиндр тормоза; 6 - маслонасос электромагнитный регулятор; 7 – буровая лебедка; 8 – аварийная защита системы; 9 – электромагнитный клапан; $P_{зад}$, $P_{тек}$ и $P_{огр}$ - осевая нагрузка соответственно заданная, текущая и максимальная ограничивающая.

Авторегуляция основана на алгоритме

$$P_{зад} = P_n + kv,$$

где: $P_{зад}$ - заданное значение осевой нагрузки, соответствующее нулевой скорости подачи; P_n - действующая осевая нагрузка; k - коэффициент пропорциональности; v - скорость подачи инструмента.

АРП также позволяет визуально контролировать и регистрировать на суточной диаграмме осевую нагрузку, регистрировать нагрузки на крюке при СПО и контролировать скорость подачи бурового инструмента.

Принцип действия регулятора АРП заключается в следующем. Сигналы от датчиков осевой нагрузки и скорости бурения подаются одновременно на вход измерительно-задающего блока, где суммируются согласно приведённой зависимости и сравниваются с $P_{зад}$. Разностный сигнал управляет работой двигателя исполнительного механизма, растормаживающего или затормаживающего барабан лебедки станка, изменяя осевую нагрузку на породоразрушающий инструмент

Буровой регулятор БР-1 (рис.5.5) устанавливаемый на шпиндельные станки с гидравлической подачей оптимизирует процесс бурения при различной крепости пород по зависимости

$$p + kv = const$$

Для настройки регулятора выбирается определенное значение k , равное тангенсу угла наклона одной из экспериментальных прямых, соответствующих данному типу пород. Каналом управления БР-1 является гидравлическая система подачи бурового станка.



Рис. 5.5. Блок-схема регулятора БР-1

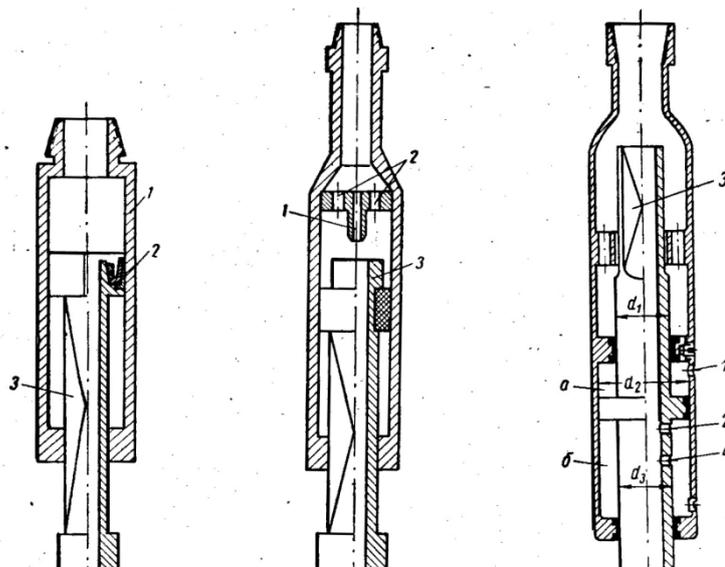
5.2. ЗАБОЙНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ПОДАЧИ ДОЛОТА.

Радикальным способом улучшения работы системы автоматического регулирования подачи долота является применение забойных автоматических устройств, помещаемых в непосредственной близости от объекта регулирования — долота. Из такой системы исключается передаточное звено — бурильная колонна, а вместе с ней — запаздывание во времени при передаче измерительных импульсов и регулирующего воздействия, а также возникающие при этом различные помехи и искажения. Однако и в этом случае бурильная колонна по-прежнему является упругой опорой забойного автомата и поэтому будет продолжать оказывать некоторое (существенно уменьшенное) влияние на его работу. Для полного исключения влияния бурильной колонны на работу забойного автомата нужно, очевидно, применить одно из известных устройств (например, МАЯЗ) для распора о стенки скважины, что, по-видимому, при бурении глубоких скважин окажется совершенно необходимым.

Ниже рассматриваются различные автоматические устройства подачи, которые в разное время, были предложены для автоматической стабилизации работы долота в заданном режиме либо самонастройки по какому-либо параметру, изменяющемуся в процессе работы.

Глубинные стабилизаторы осевой нагрузки на долото. Простейшим является ясс Когана и Березовского (рис. 5.6), предложенный в начале 30-х годов для роторного бурения. Это устройство состоит из корпуса 1, соединяемого с колонной бурильных труб, поршня 2 и квадратной штанги 3 с центральным отверстием, к которому подсоединяются на замковой резьбе утяжеленные трубы с долотом. Уплотнение поршня 2 выполнялось из кожи с поджимом уплотняющей кромки манжеты к внутренней поверхности цилиндра с помощью пружин. Ясс предложен в качестве средства борьбы с искривлением скважин посредством ограничения осевой нагрузки на долото величиной веса утяжеленных труб.

В тот же период времени выпускался для использования в промышленности ясс фирмы «Алко» (рис. 5.7) аналогичного назначения и устройства. В отличие от первого в нем был встроен гидравлический штуцер для сигнализации на поверхность об окончании зарядки штока. Это устройство состоит из перегородки с соплом 1 и отверстиями 2. В момент перекрытия этих отверстий выступом 3 головки поршня сечение для прохода раствора сужается.



Возникающее увеличение давления фиксируется на поверхности по манометру

На рис. 5.8 представлена принципиальная схема глубинного стабилизатора веса (ГСВ). Площадь сечения верхнего штока d_1 выбирается равной площади кольцевого сечения, образованного диаметрами d_2 и d_3 . Вследствие того, что зона a через отверстие 1 постоянно соединена с затрубным пространством, а зона b через отверстие 2 с высоким давлением, результирующая сила на штоке ГСВ от гидравлического перепада давления на турбобуре независимо от его величины всегда равна нулю. Ведущая труба 3 служит для восприятия реактивного момента турбобура, а отверстие 4 для сигнализации на поверхность об окончании хода штока, путем сброса части расхода промывки в затрубное пространство, воспринимаемого на поверхности по некоторому уменьшению давления на насосах.

Корпус ГСВ соединяется с бурильной колонной, а к штоку перед спуском в скважину подсоединяется набор нормальных или утяжеленных труб требуемого веса в зависимости от типа долота и бури-мости пород данного интервала скважины, типа турбобура и других технологических требований.

Нагрузка на долото при работе ГСВ будет поддерживаться постоянной и определяться только весом труб и турбобура, соединенных с его штоком, что дает возможность использовать ГСВ как для турбинного, так и для роторного бурения с долотами любого типа. В случае необходимости, соответствующим подбором диаметров штоков и поршня можно скомпенсировать подъемным усилием даже и сам вес турбобура.

Учитывая равновесный принцип работы ГСВ, нет необходимости изготавливать его различные типоразмеры. При работе ГСВ сохраняется благоприятное воздействие инерционных масс, создающих осевую нагрузку, на работу долота, в то время как бурильная колонна изолируется от действия динамики забоя.

Преимущества ГСВ трехсальникового исполнения перед другими возможными конструктивными вариантами механизмов аналогичного назначения (например, двухсальниковыми) состоит в возможности его превращения в ЗМП со ступенчатым выбором гидравлических осевых нагрузок непосредственно на буровой перед каждым рейсом, начиная от веса турбобура, путем комбинации усилий от гидравлики с весом малого количества нормальных или утяжеленных бурильных труб.

Забойные стабилизаторы момента. Забойный стабилизатор момента на долоте, предложенный Саммерсом для роторного способа бурения, предназначен для высокооборотного роторного бурения алмазными коронками.

Стабилизатор момента долота (рис. 5.9), представляет собой механизм винтового типа и должен регулировать величину осевой нагрузки на долото при бурении пород различной твердости, поддерживая неизменным момент на долоте. В жестко соединенном с колонной бурильных труб цилиндрическом корпусе 1 помещается полый винтовой шток 2 с уплотненным поршнем 4 на его верхнем конце. На нижнем конце штока закреплено долото 3. На поршне 4 имеется шайба 5 с дросселирующим отверстием для создания гидравлического перепада, необходимого для работы механизма. Винтовая канавка штока 2 сцепляется через палец 6 с корпусом 1, вследствие чего осевое перемещение штока сопровождается его вращением. Пружина 7 создает добавочное осевое усилие, действующее сверху вниз на подвижный шток.

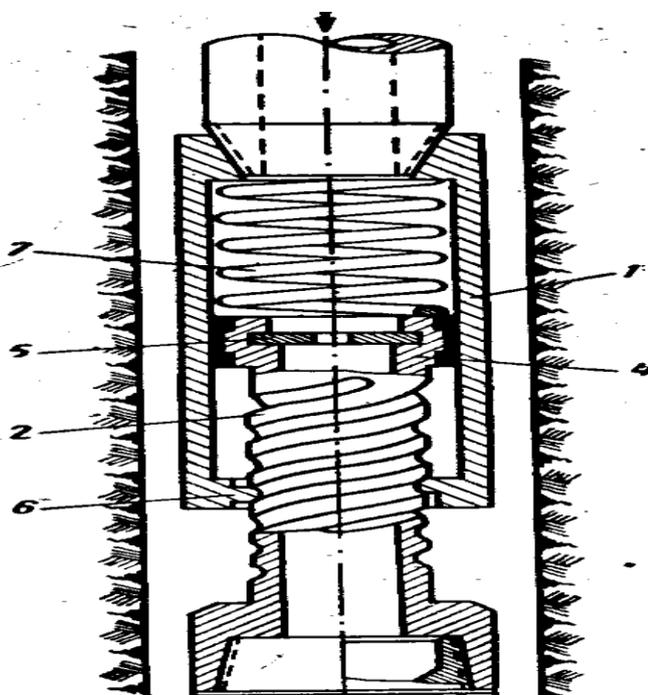
Если не учитывать сил трения во взаимодействующих деталях механизма, то в процессе бурения на шток должны действовать и уравниваться несколько сил: вниз — от пружины 7 и гидравлического перепада давления в отверстии шайбы 5 на поршень 4; вверх — от осевой реакции забоя на долото 3 и осевой составляющей на пальце 6 от реакции вращающего момента долота.

При смене твердости разбуриваемых пластов породы установившееся равновесие системы нарушится ввиду изменения величины удельного вращающего момента. При этом шток начнет поворачиваться в ту или иную сторону и, уменьшая или увеличивая осевую нагрузку на долото, восстанавливает ее равновесие.

В КуйбышевНИИНП был разработан гидромеханический автомат подачи типа АПД-1, осуществляющий регулирование осевой нагрузки на долото по постоянству заданного момента на валу турбобура (рис. 5.10).

В нижней части корпуса 1 автомата имеется гайка 4, в которой может, свободно вращаясь, перемещаться винтовой несамотормозящийся полый шток 3, жестко связанный с корпусом турбобура. На верхнем конце штока 3 имеется поршень 2, свободно передвигающийся в цилиндрическом корпусе автомата и воспринимающий полный перепад давления турбобура для создания осевой нагрузки на долото. Винтовая пара работает в масле и защищена с помощью уплотнений от проникновения в нее абразивного глинистого раствора.

Между штоком автомата и турбобуром может быть установлено несколько утяжеленных бурильных труб. Максимальная осевая нагрузка на долото, которую может развить автомат, определяется величиной гидравлического усилия на поршень, веса утяжеленных бурильных труб и турбобура с долотом.



Эти силы стремятся повернуть винтовой шток по часовой стрелке при его движении вниз. Реактивный момент долота и осевая реакция забоя действует в обратном направлении. Уравновешивание штока наступит, когда действующие навстречу друг другу осевые силы и вращающие моменты сравняются.

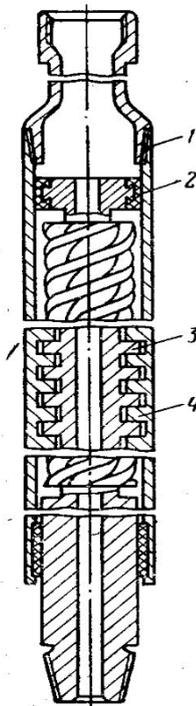


Рис. 5.10. Гидромеханический автомат подачи типа АПД

При смене твердости разбуриваемых пород, например переходе из твердого пласта в мягкий, удельный момент на долото возрастет и начнет поворачивать винт против часовой стрелки, перемещая его вверх и, тем самым, уменьшает осевую нагрузку на долото. Переход в более твердый пропласток породы вызовет обратную реакцию — увеличение осевой нагрузки на долото. Автомат АПД-1, будучи сходен по конструкции и принципу действия с описанным выше стабилизатором момента Саммерса, обладает примерно теми же недостатками.

В заключение необходимо отметить, что контроль с поверхности за работой забойных стабилизаторов момента можно осуществлять с помощью моментомера на роторе с несколько большей точностью, чем забойных стабилизаторов веса, так как коэффициент трения при вращении бурильной колонны существенно меньше коэффициента трения при ее поступательном перемещении.

6. БУРОВЫЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ УСТАНОВКИ.

Буровая автоматизированная установка "Ленинградец - 25" (БА-25 "Л"-Э) предназначена для бурения структурных, поисковых и разведочных скважин малого диаметра на нефть и газ глубиной 1500-3000 м.

При работе установки автоматически выполняются следующие операции: спуск и подъем колонны бурильных труб, наращивание с отсоединением, постановка в шурф и присоединение ведущей трубы, стабилизация заданной осевой нагрузки.

Техническая характеристика установки:

Грузоподъемность установки, кН	
номинальная	250
предельная	400
Скорость подъема, м/с	0,55-2,2
Диаметр бурильных труб, мм	50; 63,5; 73; 89
Диаметр отверстия ротора, мм	260
Частота вращения ротора, мин ⁻¹	60; 300
Система подачи	с лебедки
Тип автомата подачи	БУ-50Бр
Привод-	электрический
Суммарная установленная мощность (без насосного блока и системы очистки бурового раствора), кВт	260
Мощность главного привода (лебедки и ротора), кВт	160
Тип вышки	Б50Бр
Высота свечи, м	20
Число буровых насосов	2
Тип буровых насосов	9Мгр
Мощность привода насосного блока, кВт	150
Тип установки очистки бурового раствора	2СГУ

Установка БА-25 "Л"-Э имеет блочную компоновку. Основные блоки: блок главного привода, включающий электродвигатель и четырёхскоростную автоматическую коробку передач, раздаточный блок, блок лебедки, натяжное устройство, блок ротора с ключом и штангодержателем, блок талевый с элеватором, направляющие талевого блока, свечеподающее устройство, центратор, свечеприёмник, устройство управления установкой, вышка, автомат подачи долота, блок буровых насосов и система очистки бурового раствора, (рис. 6.1). Функционирует установка следующим образом. От двигателя 1 приводится в действие 4-скоростная автоматическая коробка передач 2, переключение которой производится многодисковыми муфтами с гидравлическим управлением. С коробкой передач карданным валом 3 связан блок раздаточной коробки 4, от которой мощность может передаваться через угловой редуктор 5 блоку ротора с ключом и штангодержателем 6, блоку лебедки, состоящему из планетарного редуктора 7, барабана лебедки 8, тормоза включения 9 и двух тормозов спуска 10; и автомату подачи долота 11. В раздаточном блоке имеются муфты ручного управления; муфта включения ротора 12, муфта переключения шестерен редуктора раздаточного блока 13 и муфта включения лебедки или автомата подачи 14. С барабаном лебедки через повышающий редуктор связан тахогенератор 15, являющийся датчиком перемещения талевого блока с элеватором. На натяжном устройстве 16 крепится неподвижный конец талевой системы. Блок ротора состоит из штангодержателя 17, ключа планетарного типа и собственно ротора 18. Зубчатые секторы ключа 19, профиль которых выполнен по логарифмической спирали, установлен на осях, вставленных в пазы водила. Водило затормаживается или растормаживается дисковым тормозом ключа 20, управляемым гидроцилиндром. Венцовая шестерня ключа соединена со ступицей колеса редуктора ротора. Таким образом, при включённом тормозе 20 и поворачиваемся роторе венцовая шестерня, взаимодействуя с секторами 19, сводит или разводит их.

Ключ приводится в действие от гидравлического двигателя 21 при включённой муфте ручного управления 22 после страгивания резьбы силовым гидроцилиндром 23, в случае развинчивания или перед докреплением при свинчивании. При этом ротор отключён от главного привода муфтой 24.

Спуск и подъём бурильной колонны осуществляется талевым блоком 25 с элеватором 26, который скользит по направляющим 27 с центратором 28. Устанавливаемые в свечеприёмнике или подаваемые к скважине свечи, переносятся блоком свечеподачи 29. Для отвода направляющих с талевым блоком и элеватором от устья скважины при извлечении или спуске в ный шурф ведущей трубы служат гидроцилиндры 30.

Система управления установкой - электрогидравлическая, релейно-контрольная; основной привод механизмов - гидравлический с электроуправлением. Все движения механизмов ограничены конечными выключателями или реле давления. Установкой управляют из кабины оператора, где сосредоточены аппаратура управления, приборы контроля и сигнализации. Предусмотрены два способа управления: ручное и автоматическое.

Ручное управление имеет наладочный и полуавтоматический режимы. В наладочном режиме управление каждой операцией отдельное, в полуавтоматическом – несколько операций осуществляется по одной команде.

Во избежание аварий и поломок механизмов схемой механизмов предусмотрены блокировки. Основные из них:

1) движение талевого блока прекращается, если толкатель вошел в зону движения талевого блока или рычаги центратора находятся не в вертикальном положении; или направляющие не в крайних положениях, или скорость талевого блока либо нагрузка на него отклонились от допустимых значений;

2) элеватор зарывается при надевании на свечу до упора;

3) элеватор открывается при закрытом штангодержателе и снятом весе бурильных труб или удержании свечи клещами;

4) клещи открываются на оси скважины при закрытом элеваторе;

5) ключ включается при отключенном роторе.

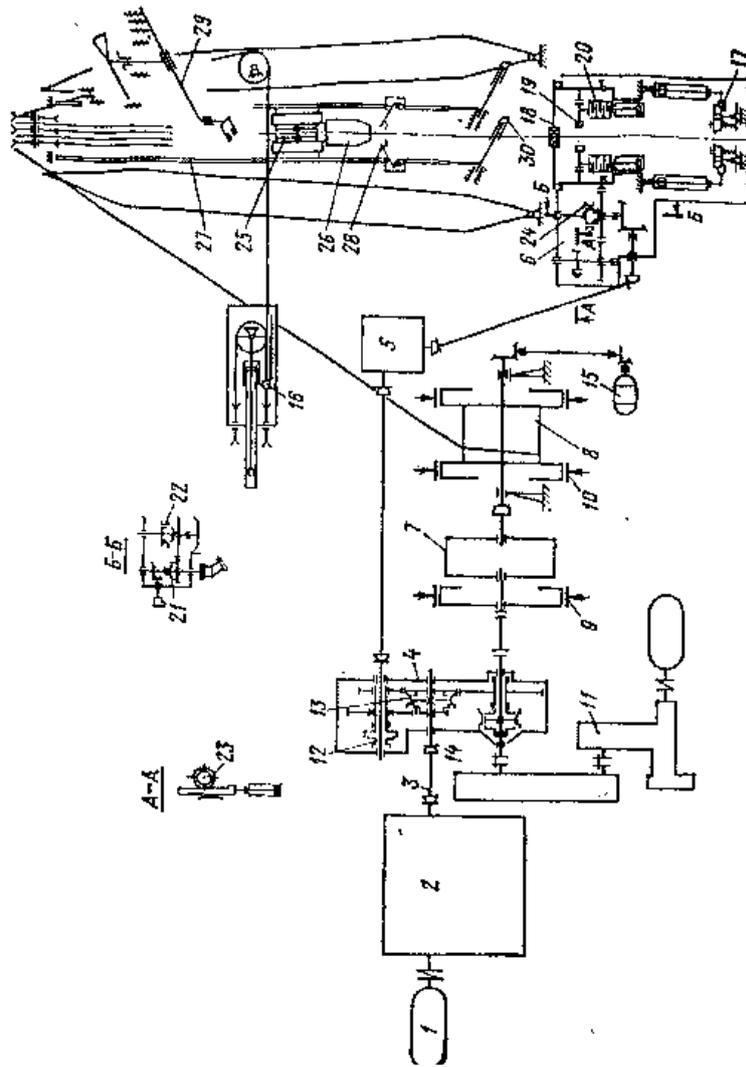


Рис.6.1. Кинематическая схема буровой автоматизированной установки БА-25ЛЭ

С учётом недостатков конструкции, выявленных при работе опытных образцов БА-25 “Л”-Э, была разработана и изготовлена автоматизированная установка Уралмаш-125А.

Техническая характеристика:

Глубина бурения, м	4000
Грузоподъёмность, кН	
номинальная	1250
максимальная	2000
Мощность на крюке, кВт	603
Максимальная оснастка талевой системы	5 x 6
Длина свечи, м	24 -27
Диаметр талевого каната, мм	32
Скорость подъёма крюка, м/с	0,1- 2
подъёма крюка- бесступенчатая	Регулировка скоростей
Допустимая статическая нагрузка на стол ротора, кН.	3200
Диаметр отверстия в столе ротора, мм	560
Мощность на приводном валу ротора, кВт	294
Частота вращения стола ротора, мин ⁻¹	20 - 200

Регулировка скоростей вращения ротора-	бесступенчатая	
Максимальный крутящий момент на роторе, Нм	25000	
Статическая грузоподъемность вертлюга, кН	2500	
Число буровых насосов, шт.	2	
Суммарная мощность буровых насосов, кВт	1178	
Максимальная суммарная подача промывки, л /с	102	Максимальное давление
бурового насоса, МПа	25	Высота вышки, м
	42-45	

Забойные автоматы и механизмы подачи долота. К этой группе устройств относятся глубинные стабилизаторы осевой нагрузки на долото, забойные стабилизаторы момента, забойные автоматы и регуляторы подачи долота.

Эффективность их применения максимальна при бурении скважин турбобурами на глубину свыше 1500-2000 м. Это связано с тем, что с ростом глубины скважин увеличиваются потери осевой нагрузки на трение бурильной колонны о стенки скважины, в результате чего буровой снаряд либо застревает, либо периодически проскальзывает. Даже в режиме прокручивания бурильной колонны возникают ложные заниженные “максимумы” (экстремальные значения) механической скорости бурения в результате неравномерной нагрузки долота и неустойчивого момента вращения турбобура. В таком режиме турбобур работает неустойчиво и с низкой производительностью. Технические наземные средства, с помощью которых возможно эффективно контролировать работу турбобура на больших глубинах нет.

Решение задачи управления режимом работы турбобура на больших глубинах - использование забойных автоматов или глубинных стабилизаторов.

Глубинные стабилизаторы предназначены для поддержания постоянной осевой нагрузки на долото, независимо от длины колонны бурильных труб при роторном и турбинном бурении. При использовании глубинного стабилизатора веса (ГСВ) осевая нагрузка на долото может создаваться, как утяжеленными бурильными трубами (УБТ) с турбобуром, присоединенным к ГСВ, так и дополнительно за счет гидравлического перепада давления промывочной жидкости в стабилизаторе веса, рис.6.2. В первом случае за счет равенства площади сечения верхнего штока диаметром d_1 и кольцевой площади диаметрами d_2 и d_3 при открытых отверстиях 2, 3 и 4, соединяющих, соответственно, зону А с затрубным пространством и зону Б с пространством внутри штока с высоким давлением. Сила гидравлического перепада давления на штоке при любом его значении равна нулю. Отверстие 4 служит для сигнализации на поверхность о состоянии момента „разрядки” ГСВ. При выдвигании штока в процессе бурения отверстие 4 выходит за пределы корпуса ГСВ и давление внутри труб уменьшается, что фиксируется поверхностным манометром.

При необходимости создать дополнительную к весу УБТ и турбобура нагрузку на забой отверстия 3 и 4 закрываются пробками, а отверстие в нижней части корпуса открывается. В этом случае на штоке ГСВ появляется дополнительная сила гидравлического перепада давления, пропорциональная площади сечений штока.

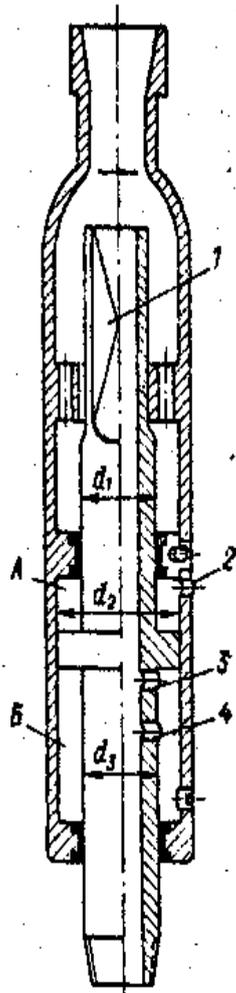


Рис.6.2. Глубинный стабилизатор веса, где: 1-шток; 2-4 -отверстия

Верхняя часть штока воспринимает крутящий момент, который передается через перегородку с квадратным сечением на корпус ГСВ и компенсируется ротором буровой установки.

Глубинные стабилизаторы момента регулируют осевую нагрузку, поддерживая постоянную величину момента на долоте. Применяются и другие стабилизаторы.

Забойные автоматы подачи долота для турбинного бурения позволяют регулировать осевую нагрузку на долото для поддержания постоянного значения перепада давления, частоты вращения или вращающего момента на валу турбобура. Забойные автоматы подачи устанавливаются над турбобуром. При необходимости между автоматом подачи и турбобуром может быть включен набор УБТ.

Автоматы подачи по перепаду давления используют зависимость перепада давления жидкости на лопатках турбобура от частоты вращения. Такая зависимость характерна только для лопаток определенного профиля.

Изменение частоты вращения вследствие изменения осевой нагрузки на забой влияет на перепад давления жидкости, что вызывает срабатывание гидромеханического сервопривода автомата. В случае уменьшения частоты вращения сервопривод приподнимает турбобур над забоем, уменьшая осевую нагрузку, а, следовательно, момент вращения на долоте и наоборот. Автомат по перепаду давления является самонастраивающейся системой на максимум мощности турбобура. Автоматы регулирования момента вращения на валу турбобура имеют в качестве чувствительного элемента пружинный моментомер, реагирующий на изменение

момента на долоте и перемещающий золотник гидромеханического привода подачи. Последний, в зависимости от положения золотника, нагружает или разгружает долото.

Принцип действия автомата подачи по зависимости изменения частоты вращения долота состоит в управлении осевой нагрузкой при помощи центробежного регулятора, связанного с валом турбобура.

Центробежный регулятор через гидроусилитель воздействует на золотник гидромеханического сервопривода, который уменьшает или увеличивает нагрузку на долото. При частоте вращения большей оптимального значения, сервопривод нагружает долото, увеличивая тем самым реактивный момент и снижая частоту вращения. И, наоборот, при уменьшении частоты вращения сервопривод разгружает долото, доводя частоту вращения до оптимального значения.

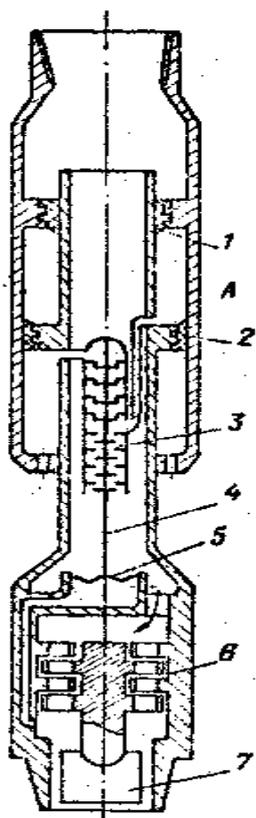


Рис.6.3. Схема забойного автомата АЗТС, где: 1-шток; 2 – поршень; 3- дросселирующий золотник; 4-штанга; 5 – диафрагма; 6- регулирующая турбинка; 7- её вал.

Одним из наиболее перспективных является забойный нереверсивный автомат с дросселирующим золотником, рис.6.3. Он предназначен для работы в глинистом растворе. Его корпус соединяется с колонной бурильных труб, а шток – с корпусом турбобура. Сервопривод автомата имеет два уплотнения – на поршне и на штоке. Между ними расположена зона А, давление в которой регулируется с помощью дросселирующего золотника.

Когда зона А соединена с внутренней полостью бурильной колонны, нагрузка на долоте максимальна, а при соединении её с затрубным пространством – минимальна. Регулирующее воздействие на штангу дросселирующего золотника передаётся от диафрагмы, находящейся под воздействием перепада давления на регулирующей турбинке пропеллерного типа, растущим от холостого хода к тормозному режиму. Вал регулирующей турбинки соединен с валом турбобура.

При увеличении момента на валу турбобура частота вращения регулирующей турбинки уменьшается, а перепад давления на ней увеличивается. При этом штанга перемещается вниз и переключает зону с высокого давления внутри бурильной КОЛОННЫ на низкое в затрубном пространстве. Осевая нагрузка на долото уменьшается и частота вращения вала турбобура растет. Уменьшение момента на валу турбобура вызывает увеличение осевой нагрузки на долото. При колебании расхода промывочной жидкости автоматически осуществляется самонастройка регулятора путем гидравлического уравнивания усилия на золотнике и диафрагме.

7. АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ.

Эффективность вращательного бурения зависит от строго определенного соотношения частоты вращения коронки, осевой нагрузки и количества промывочной жидкости. Следовательно, основой автоматического управления процессом бурения скважин являются алгоритмы, отражающие зависимости управляющих параметров между собой и критерием оптимальности процесса.

В настоящее время на основании практических, данных бурения разработаны простейшие алгоритмы, содержащие эмпирические зависимости механической скорости бурения от осевой нагрузки на забой, механической скорости бурения от частоты вращения, частоты вращения от осевой нагрузки на забой при различной скорости бурения и др. Эти алгоритмы послужили основой для создания самонастраивающихся систем автоматического управления процессами бурения, выбирающих оптимальное сочетание параметров для достижения заданного критерия. В системах автоматического управления процессом бурения часто используется зависимость

$$Pn = cV$$

где: P - осевая нагрузка; n - частота вращения породоразрушающего инструмента; V - скорость бурения; c - коэффициент пропорциональности.

Принципиальная схема установки вращательного бурения с электронным управляющим блоком (рис. 7.1) включает талевый блок и кронблок с тросом.

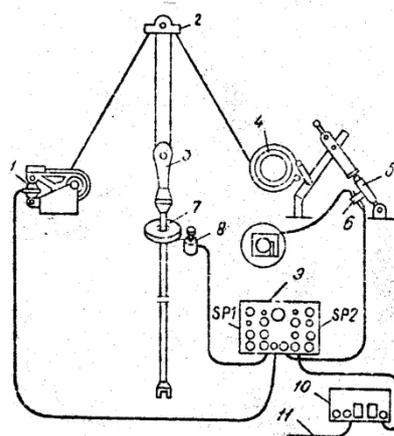


Рис. 7.1. Принципиальная схема установки вращательного бурения с основным электронным управляющим устройством: 1 – датчик натяжения неподвижного конца троса; 2 - кронблок с тросом; 3 - талевый блок; 4 - барабан лебедки; 5 - гидроцилиндр, 6 - электрический клапан; 7 - ротор; 8 - тахометр; 9 - управляющий блок; 10 - преобразователь электроэнергии сети; 11- линия сети.

Бурильная колонка с породоразрушающим инструментом вращается ротором, который одновременно приводит в действие датчик скорости - тахометр. Усилие натяжения в неподвижном конце талевого системы воспринимается анкером с датчиком натяжения. Подача инструмента при углубке скважины происходит за счет поворачивания барабана лебедки при его растормаживании исполнительным управляющим цилиндром с электрическим клапаном, шток которого через тягу связан с тормозной рукояткой лебедки. Цилиндр работает при открытом электроклапане от источника пневматического или гидравлического давления. Управление подачей инструмента осуществляется электронным управляющим блоком, в котором в соответствии с вышеуказанной зависимостью перемножаются электрический сигнал тахометра и гидравлический сигнал от датчика натяжения, преобразованный в блоке в электрический. Если напряжение, соответствующее произведению электрических сигналов, меньше заданной величины оптимальной скорости бурения, возникает разностный сигнал. Последний усиливается и подается как управляющий для открытия электроклапана и растормаживания лебедки.

Управляющий блок питается от преобразователя электроэнергии сети. Регулирование согласно схеме производится поддержанием постоянного значения Pn/d , соответствующего в данных условиях бурения оптимальной проходке на коронку (здесь d - диаметр коронки).

В общем случае система автоматического управления (САУ) процессом бурения может быть представлена блок-схемой (рис. 7.2), где объектом управления является сложная динамическая система буровой станок - буровой инструмент.

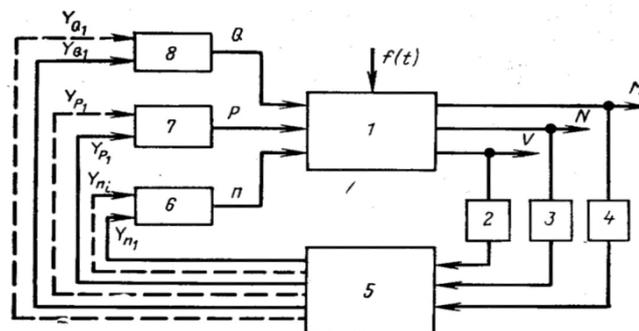


Рис. 7.2. Блок-схема системы автоматического управления: 1 - буровой инструмент; 2-4- датчики; 5 - управляющая система; 6 - вращатель; 7 - система подачи; 8 - буровой насос.

Она имеет три основных входных регулируемых параметра: частоту вращения инструмента n , осевую нагрузку на забой P и количество промывочной жидкости Q . Кроме входных состояние объекта определяется выходными переменными параметрами: механической скоростью бурения V_m , потребляемой мощностью N и крутящим моментом M . Они зависят от физико-механических свойств породы, состояния и типа породоразрушающего инструмента, входных параметров регулирования и т.д. К возмущающим воздействиям $f(t)$ относятся свойства породы, состояние породоразрушающего инструмента, условия бурения и т.д.

Управляющая система при помощи датчиков получает информацию о значениях выходных параметров, описывающих состояние управляемого объекта в определенные моменты времени, после чего преобразует эту информацию и вырабатывает управляющие сигналы Y_n , Y_p , Y_q . Эффективность достижения управляемым объектом цели управления характеризует показатель эффективности E , который может достигать экстремального значения, например, максимума механической скорости или других критериев.

Бывают случаи, когда V_{max} по ряду причин, обычно технических, не может быть достигнута. Тогда используются способы поиска и поддержания максимума скорости бурения путем преобразования неэкстремальной характеристики в экстремальную.

Максимум механической скорости может находиться в функции одной или нескольких переменных. При одной регулируемой переменной самонастройка системы на максимум

скорости бурения производится регулированием только, например, частоты вращения бурового инструмента при стабилизации других параметров.

Регулирование по двум параметрам может осуществляться двумя самостоятельными оптимизаторами, регулирующими независимо P и n . Имеются способы функционального регулирования, когда один из параметров регулируется оптимизатором, а другой - при помощи функционального преобразователя на основе заложенной программой зависимости (рис. 7.3).

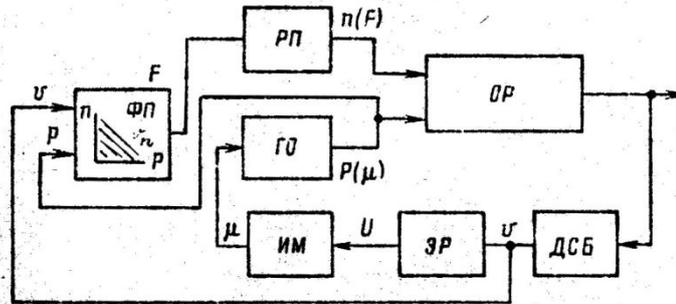


Рис. 7.3. Блок-схема САУ процессом вращательного бурения: ФП - функциональный преобразователь; РП - регулируемый привод; ГО - гидравлический орган подачи; ИМ - исполнительный механизм; ОР - объект регулирования; ЭР - экстремальный регулятор; ДСБ - датчик скорости бурения; v , V , M и F - сигналы связи между блоками.

По блок схеме САУ процессом вращательного бурения регулирование производится на основании следующих посылок:

- скорость твердосплавного бурения уменьшается по мере увеличения твердости пород;
- скорость бурения увеличивается с ростом осевой нагрузки и частоты вращения коронки тем интенсивней, чем мягче порода;
- максимум механической скорости для более твердых пород достигается при больших значениях P и меньших значениях n , из чего следует, что частоту вращения твердосплавной коронки целесообразно регулировать обратно пропорционально, а осевую нагрузку прямо пропорционально крепости породы.

Таким образом, P можно определять как величину, пропорциональную крепости породы, по максимуму механической скорости V_{max} . Для определения n используется зависимость $Pn = const$. Оптимальное значение P , очевидно можно найти с помощью экстремального регулятора, а n в функции V и P по приведённой зависимости.

Поиск максимума скорости бурения по схеме регулирования (рис. 7.3) происходит следующим образом. Исполнительный механизм экстремального регулятора увеличивает осевую нагрузку P . Пусть при этом увеличивается V . Сигналы от датчиков осевой нагрузки и скорости бурения ДСБ подаются на функциональный преобразователь, повышающий частоту вращения регулируемого привода. Если дальнейшее увеличение P не приводит к росту V , а следовательно, и n (последняя увеличивается или убывает соответственно с ростом или уменьшением V), то с некоторого значения P , ФП снижает n , что приводит к интенсивному снижению V . Экстремальный регулятор на основе знака разности

$$\Delta V = V_{тек} - V_{max}$$

выдает команду ИМ на реверс и P уменьшается. Таким образом, для породы определенной категории найдено максимальное значение v из условия оптимальности процесса. Эта САУ

процессом вращательного бурения может быть использована не только для твердосплавного бурения, но и для других его видов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Основным процессом при бурении скважины является работа долота по углублению ее ствола. Обеспечение оптимальной производительности этого процесса по механической скорости и проходке на долото оказывает решающее влияние на производительность всей буровой установки. Для решения задачи оптимального управления процессом бурения необходимо: выбрать и обосновать критерии оптимального управления и регулируемые величины, а также закон их изменения во времени, чтобы достичь в данных условиях наивысшей производительности или минимальной стоимости; выбрать из имеющихся либо разработать новые технические средства для непрерывного контроля режима бурения и анализа информации о процессе; разработать алгоритмы и технические средства их реализации для задания установок регулируемых величин автомату подачи долота с целью достижения наивыгоднейшего значения критерия оптимального управления.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Чем отличается автоматизированное управление от автоматического?
2. Какая система называется автоматической системой?
3. Что входит в понятие объект управления?
4. Какие устройства называются автоматическими?
5. Что называется автоматизацией?
6. Что относится к рабочим операциям?
7. Что относится к операциям управления?
8. Что образует процесс управления?
9. Что изучает автоматика?
10. Когда связь операций контроля и управления производится через бурильщика, а когда - без бурильщика?
11. В зависимости от размерного класса буровых установок, нормальные ряды предусматривают контроль каких основных параметров процесса бурения?
12. Из чего состоят существующие телеметрические системы?
13. Что относится к первичным преобразователям (ПП) измеряемых параметров?
14. Какие каналы связи в реальных условиях бурения нашли широкое применение?
15. По п. 14 перечислите их преимущества и недостатки.
16. Перечислите виды импульсов при ГКС.
17. В чём перспектива турбогенераторов?
18. Перечислите критерии автоматизации?
19. Поясните квазиоптимальный критерий постоянных проходок.
20. Выделите основные группы критериев оптимизации в области бурения скважин.
21. На что делятся замкнутые системы регулирования?
22. Поясните понятие *неравномерности*, или *статизма* регулирования.
23. Что такое системы несвязанного регулирования?
24. Что такое системы связанного регулирования?
25. Какие системы автоматического регулирования называются одноконтурными?
26. Какие системы автоматического регулирования называются многоконтурными?
27. Какие системы называются линейными?
28. Какие системы называются нелинейными?
29. В зависимости от числа регулируемых величин системы автоматического регулирования (САУ) подразделяются на?
30. По виду начальной информации все САУ делятся на?
31. Разомкнутые САУ по виду рабочей информации делятся на?
32. По какой зависимости буровой регулятор БР-1 оптимизирует процесс бурения?
33. Чему всегда равна результирующая сила на штоке глубинного стабилизатора веса (ГСВ) от гидравлического перепада давления на турбобуре независимо от его величины?
34. Что представляют собой забойные стабилизаторы момента?
35. Какие автоматически выполняются операции при работе буровой автоматизированной установки "Ленинградец - 25"?

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бродов Г.С.* Технологические измерения и автоматизация процесса бурения / Г.С. Бродов, И.Г. Шелковников, Э.К. Егоров. ФГУ НПП “Геологоразведка”, Санкт-Петербургский горный институт. СПб, 2004. - 105 с.
2. *Ефремов С.В.* Теория автоматического управления. – М.: Недра, 1999. - 520 с.
3. *Козловский Е.А.* Автоматизация процесса геологоразведочного бурения / Е.А. Козловский, Г.Х. Гафиятуллин. М., Недра, 1977.
4. *Погарский А.А.* Автоматизация процессов бурения глубоких скважин. М., Недра, 1972.
5. *Храменков В.Г.* Контроль и автоматизация технологических процессов при бурении геологоразведочных, нефтяных и газовых скважин: Учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 300 с.
6. *Шамшев Ф.А.* Автоматизация и механизация производственных процессов при бурении геологоразведочных скважин. Учебное пособие для вузов / Ф.А. Шамшев, И.Г. Шелковников. М.: Недра, 1982 г.