

Автоматизация строительства скважин

1. Задачи и основы автоматизации процессов бурения

Анализ состояния бурения, выполненный у нас в стране и за рубежом, показывает, что в настоящее время при существующем техническом уровне буровых средств первостепенное значение имеет оптимизация технологических процессов.

Например, только за счет качественного контроля и непрерывного автоматического управления режимами бурения глубоких скважин с выдерживанием необходимых сочетаний осевой нагрузки и оборотов долота, можно повысить показатели бурения (в частности величину рейсовой скорости) в среднем на 25...30%.

При создании и внедрении АСУТП-бурения важное значение имеют информационно-измерительные системы и средства автоматики как для целей оперативного управления, так и для сбора и статистической обработки данных.

Бурение скважин является одним из важных и в то же время сложных этапов строительства скважин.

Оптимизация возможна только при наличии достаточной объективной информации, характеризующей режимные показатели работ буровых механизмов (долота, турбобура, насосов и т.п.).

Для этого необходимы современные методы контроля и комплекс технических средств, достаточно надежных в условиях их эксплуатации на буровых.

Процесс бурения скважин характеризуется независимыми и зависимыми параметрами.

К независимым параметрам относятся: осевая нагрузка на долото; частота его вращения; расход промывочной жидкости. От этих параметров и механических свойств горных пород, конструкции и состояния долота зависят вращающий момент и скорость проходки - зависимые параметры.

Задачей автоматизации процесса бурения является автоматическое регулирование независимых параметров в функции изменения механических свойств горных пород и состояния бурильного инструмента (долота и бурильных труб) в соответствии с выбранным критерием оптимизации.

Виды бурения: турбинное, роторное и с использованием электробур.

Какие из параметров процесса бурения можно использовать для оперативного управления?

Число оборотов бурильного инструмента.

При роторном бурении можно регулировать только ступенчато, изменяя передачу от привода к ротору.

При бурении электробуром изменять число оборотов сложнее, так как для этого потребуются частотные преобразователи.

При турбинном бурении число оборотов зависит от нагрузки на долото и расхода промывочной жидкости, который можно изменять сменой рубашек бурового насоса, то есть ступенчато.

Таким образом, вследствие отсутствия плавно регулируемых приводов вращения долота и буровых насосов не имеется практической возможности оперативного регулирования числа оборотов долота и расхода бурового раствора.

Исследования показали, что наиболее эффективным является автоматизация подачи долота, то есть управление осевой нагрузкой.

2. Способы управления осевой нагрузкой

Для управления осевой нагрузкой можно воздействовать на перемещение верхнего или нижнего конца бурильной колонны.

В первом случае устройство подачи долота (УПД) располагается на поверхности, а во втором случае, УПД устанавливается в скважине вблизи забоя.

Глубинные УПД позволяют лучше осуществлять управление подачей долота, особенно в глубоких скважинах, т.к. из контура управления исключается колонна бурильных труб, вносящая помехи, из-за сложных условий, в которых она работает, но не нашли широкого применения.

При ручном управлении процессом бурения нагрузка на долото регулируется изменением подачи бурильного инструмента – с помощью тормозного устройства лебедки.

При ручной подаче бурильщик освобождает тормоз барабана буровой лебёдки, который делает поворот на определённый угол.

Подача инструмента осуществляется уменьшением усилия на лентах тормозного барабана. При этом бурильные трубы под действием силы тяжести опускаются вниз до тех пор, пока бурильщик не затормозит барабан лебедки. **Буровой инструмент опускается и часть веса колонны передаётся на забой скважины, увеличивая нагрузку на долото.**

При подаче бурильного инструмента нагрузка ступенчато увеличивается. По мере срезания горных пород и соответственно углубления долота осевая нагрузка уменьшается.

Отпуская тормоз лебедки, бурильщик снова осуществляет подачу.

Цикл этот изображён на рисунке 1, где AB – начальное давление на забой при освобождении тормоза. AB – проходка.

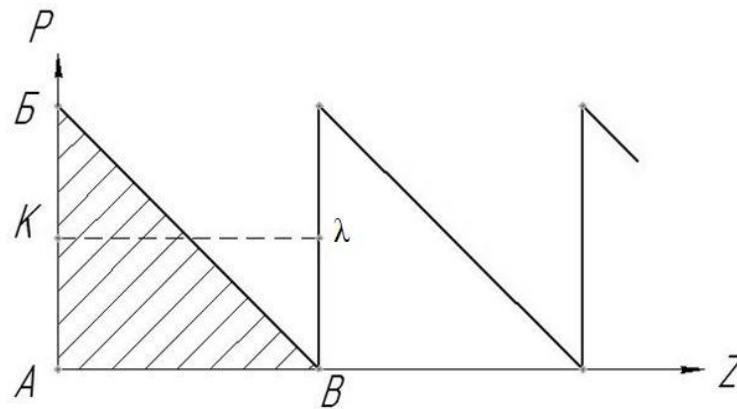


Рисунок 3.1 – Зависимость проходки от нагрузки на долото

Площадь треугольника **АБВ** пропорциональна работе, выполненной долотом.

Возьмём на диаграмме точку **К**, причём, **АК=АБ/2**. Очевидно, что площадь прямоугольника **АКЛВ** равна площади треугольника **АБВ**.

Таким образом, такая же работа может быть выполнена долотом при нагрузке в два раза меньшей, если её поддерживать постоянной.

А если нагрузку поддерживать постоянной на начальном уровне - то при тех же предельных напряжениях бурильного инструмента работа будет сделана в два раза большая.

Таким образом, **автоматическая подача бурильного инструмента, обеспечивающая постоянную нагрузку на долото, позволяет обеспечить увеличение механической скорости, относительное снижение крутящего момента в бурильных трубах, уменьшение износа долота и соответственное увеличение проходки скважин.**

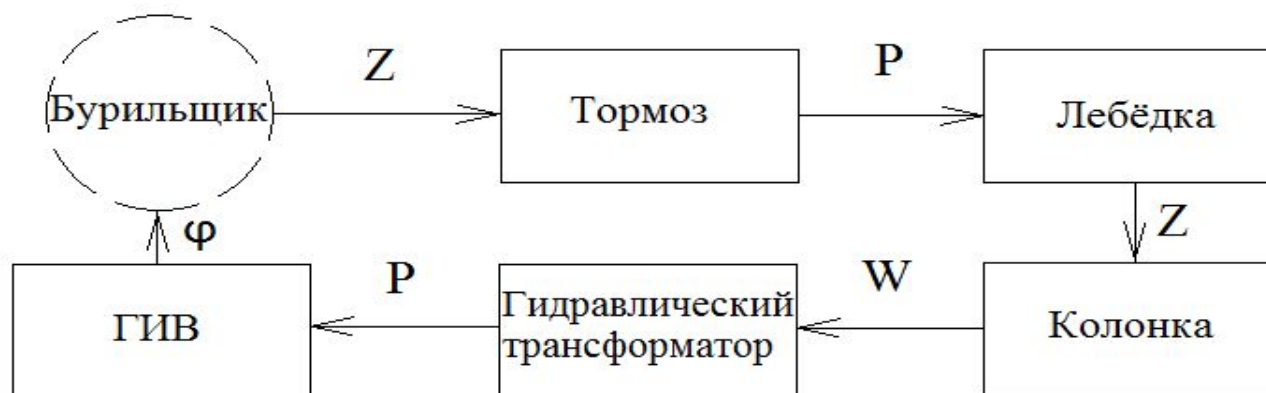


Рисунок 2- Схема управления процессом бурения с бурильщиком

Бурильщик, при отклонении нагрузки на долото, перемещает на величину Z рукоятку тормоза лебёдки. При этом изменяется усилие P тормозных колодок на шкив барабана лебёдки, изменяются подача инструмента Z и вес колонны, давящий на долото W , который регистрируется трансформатором гидравлического индикатора веса (ГИВ).

Таким образом, роль бурильщика сводится к перемещению рукоятки управления тормозом лебёдки в функции изменения нагрузки на долото, которое определяется выражением

$$\Delta Z = K \Delta P, \quad (1)$$

где: K — коэффициент пропорциональности, показывающий, какое перемещение инструмента приходится на единицу отклонения нагрузки на долото;

ΔP — отклонение осевой нагрузки на долото относительно заданного значения.

Управление по этой формуле можно осуществить автоматически, если вместо бурильщика предусмотреть исполнительный механизм. Схема управления будет выглядеть, как на рисунке 3.

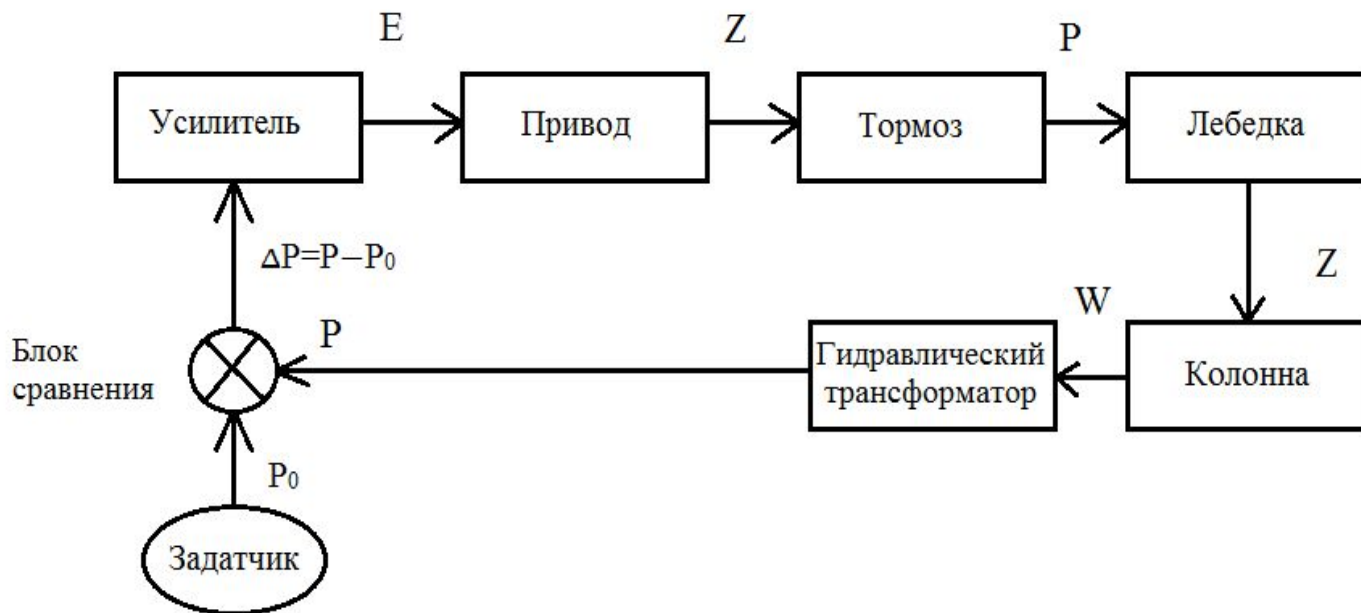


Рисунок 3 - Автоматическая схема управления процессом бурения

Представленная сема представляет собой САР по отклонению.

Обратная связь осуществляется первичным преобразователем, в качестве которого применяется гидравлический трансформатор давления.

Поскольку мощность сигнала в большинстве случаев является недостаточной для управления приводом, в схему вводится усилитель.

В схеме предусмотрены блок сравнения и задатчик. С помощью задатчика устанавливается нагрузка на долото, которая должна автоматически поддерживаться регулятором подачи.

Блок сравнения выполняет функцию выработки управляющего сигнала, пропорционального разнице между существующей и заданной нагрузкой на долото.

3. Автоматизация процесса поддержания заданных режимов бурения скважин

Для автоматической подачи долота на забой скважины используют устройства подачи долота (УПД).

По принципу действия УПД делятся на фрикционные, гидравлические и электромашинные.

По месту воздействия на бурильную колонну – на наземные и глубинные.

Наземные УПД воздействуют на верхнюю часть бурильной колонны, а глубинные - на нижнюю.

У наземных УПД конструкция и габариты не зависят от размеров скважины и условий работы долота на забое.

У глубинных УПД механизм подачи расположен в скважине, что накладывает ограничения на схему, габариты из-за ограниченного диаметра ствола скважины, высокого давления буровой жидкости, высокой температуры, ударов и вибраций, сопровождающих работу долота.

Большинство схем управления процессом бурения осуществляет поддержание в заданных пределах осевую нагрузку P_d на долото.

Осевая нагрузка на долото создается частью веса бурильной колонны согласно соотношения

$$P_d = P_o - P, \quad (2)$$

где P_o - полная сила веса бурильной колонны;

P - сила веса бурильной колонны, измеряемая на верхнем конце ее (на крюке).

Это осуществляется перемещением верхнего конца бурильной колонны с помощью УПД. При этом нижний конец бурильной колонны опускается со скоростью v_n , равной механической скорости,

(3)

где: k - коэффициент $v_n = k e^{at} G_B^\beta n^\alpha$, зависящий от крепости породы, типа долота, количества и качества промывочной жидкости;
 a - коэффициент, зависящий от типа долота и свойств породы;
 t - текущее время механического бурения;
 n - частота вращения долота; β - показатель, близкий к единице (для пород твердых и средней твердости);
 α - показатель, изменяющийся в диапазоне 0,3...0,8 и возрастающий с уменьшением твердости породы.

В интервалах однородной породы в короткие отрезки времени устанавливается постоянная механическая скорость проходки. Приняв, что в этих интервалах величина

$$ke^{-at}n^{\alpha} = C$$

постоянна и $\beta \approx 1$, получим

$$v_n = {}^{(4)}CG_B.$$

При перемещении верхнего конца бурильной колонны на величину S_B в результате изменения нагрузки на долото низ колонны перемещается соответственно на величину S_H .

Разность перемещений верхнего и нижнего концов колонны связана с осевой нагрузкой на долото выражением

$$S_e - S_n^{(5)} = \frac{L}{EF} G_D,$$

где L - длина бурильной колонны.

При установившемся режиме скорость v_B подачи верхнего конца колонны равна механической скорости бурения v_H .

Однако в процессе работы УПД скорость v_B может изменяться в широких пределах и менять знак на обратный (в переходных режимах).

Поэтому в динамическом режиме

$$v_e - v_n = \frac{L}{EF} \frac{\partial G_B}{\partial t} \quad (6)$$

Подставив v_n из (4) в (6), получим

$$v_e = \frac{L}{EF} \frac{\partial G_B}{\partial t} + CG_B \quad (7)$$

Следовательно, подачу инструмента УПД можно осуществлять в функции S_B либо v_B , либо G , чтобы регулируемый параметр - осевая нагрузка на долото G_D (по аналогии - частота вращения долота n , либо ток электробура) поддерживался постоянным.

4 Электромашинные автоматические регуляторы подачи долота

Электромашинные автоматические регуляторы подачи долота выполнены по типу следящей системы с машинами постоянного тока и измерительной частью, питаемой переменным током промышленной частоты.

**Они обеспечивают поддержание заданной
бурильщиком с пульта управления осевой нагрузки на
долото и постоянной скорости подъёма или подачи
инструмента.**

Принцип работы электрических регуляторов подачи долота рассмотрим на примере РПДЭ – 3.

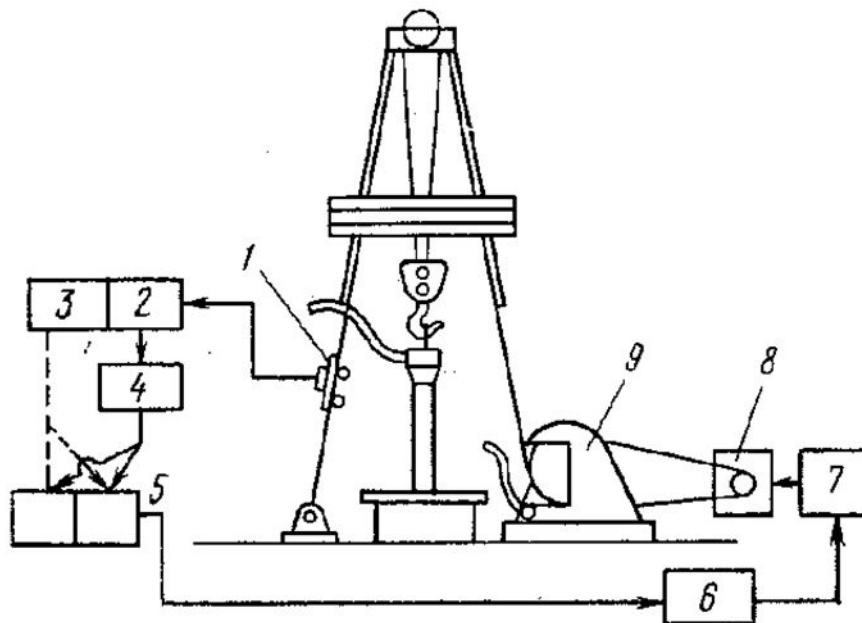


Рисунок 4 - РПДЭ -3

В состав регулятора РПДЭ – 3 входят: 1 – рессорный датчик веса; 2, 3 - узел установки веса и скорости; 4 - станция управления с полупроводниковым усилителем, обеспечивающим усиление управляющего сигнала для реверсивного магнитного усилителя 5;

6 - двигатель-генератор, состоящий из приводного асинхронного двигателя и генератора постоянного тока; силовой узел, состоящий из двигателя постоянного тока 7, червячно-цилиндрического редуктора 8 и электромагнитного колодочного тормоза (редуктор соединен с лебедкой 9).

Регулятор работает следующим образом.

В режиме поддержания заданного значения нагрузки на долото с помощью универсального переключателя SA подается питание на сельсин датчика веса BC1 и полупроводниковый усилитель AVT и отключается питание сельсина установки скорости BC2.

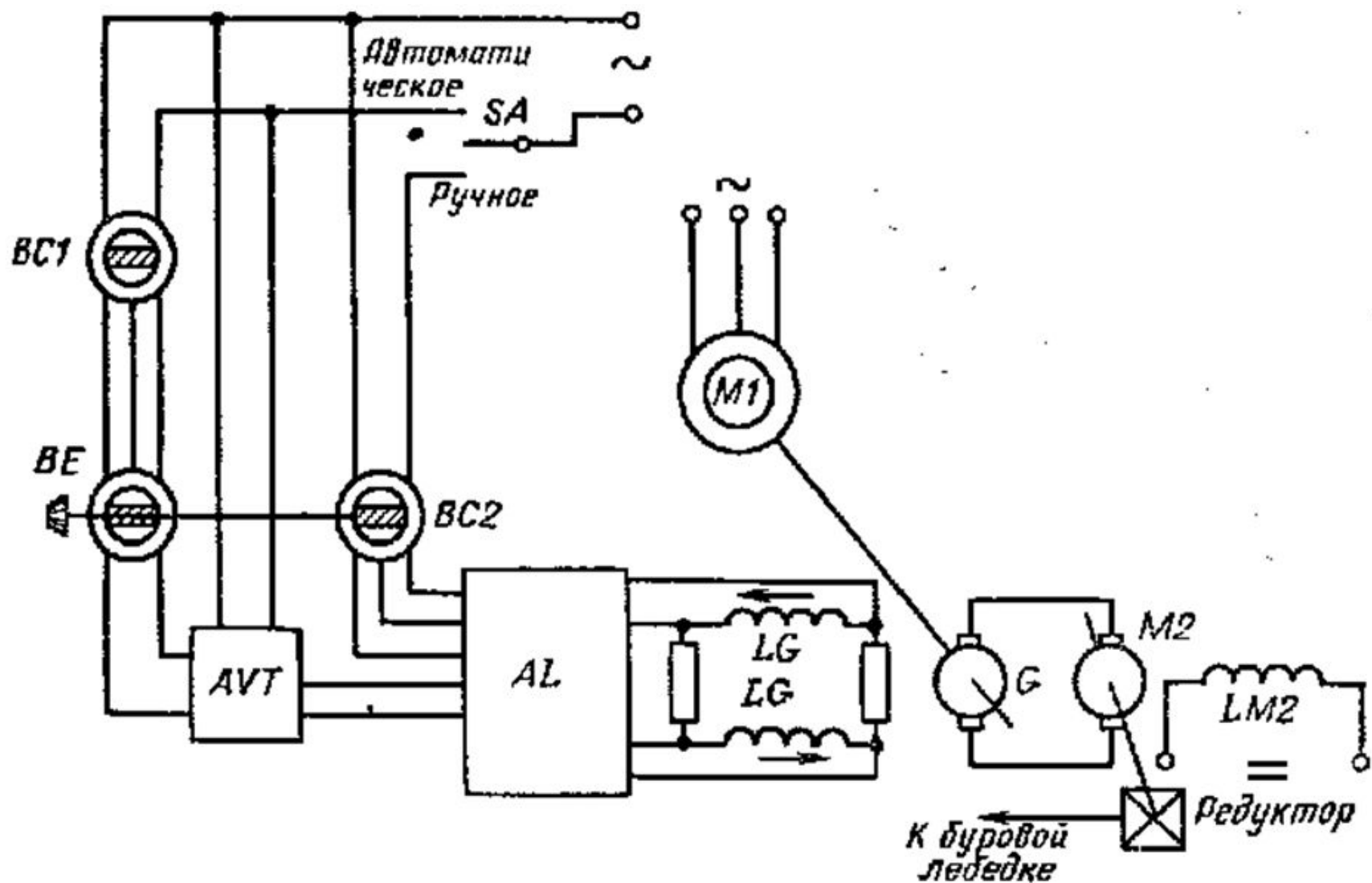


Рисунок 5 - Структурная схема регулятора РПДЭ-3

Сельсин ВС1 работает в паре с сельсином установки веса ВЕ. Напряжение с выхода сельсинной пары поступает на АВТ. Усиленный сигнал подается на магнитные усилители АЛ и на генератор постоянного тока G, управляющего частотой вращения двигателя М2 и скоростью подачи инструмента.

В режиме поддержания заданного значения скорости подачи инструмента АВТ и датчик веса не принимают участия, а сигнал с сельсина ВС2 поступает на АЛ. Этот режим применяется для аварийного подъема инструмента при отказе главного привода и при монтаже буровой.

Перед началом бурения ротор сельсина ВЕ ставят в согласованное с ротором сельсина ВС1 положение, в результате вал двигателя М2 неподвижен (происходит «взвешивание» инструмента).

Далее ротор сельсина ВЕ поворачивают на определенный угол. Вал двигателя М2 начинает вращаться в сторону подачи инструмента.

Как только долото коснется забоя, осевая нагрузка на долото начинает увеличиваться, а вес на крюке - уменьшаться. Ротор ВС1 поворачивается в сторону уменьшения угла рассогласования роторов ВС1 и ВЕ. Напряжение на зажимах обмотки возбуждения LG и частота вращения М2 будут уменьшаться, пока нагрузка на долото не достигнет значения близкого к заданному, а скорость подачи долота не будет равна скорости бурения.

Нагрузка на долото поддерживается автоматически.

.

Во вспомогательном режиме поддержания заданного значения скорости подачи или подъема инструмента переключателем SA питание подается на обмотку возбуждения сельсина BC2, а питание AVT и датчика веса отключается. Напряжение с обмоток синхронизации сельсина BC2 поступает на обмотки AL.

Регулятор поддерживает осевую нагрузку на долото близкой к весу колонны бурильных труб.

В установившемся режиме скорость подачи долота равна скорости проходки.

Если скорость подачи долота превосходит скорость проходки, то нагрузка на забой растет, что может повлечь за собой искривление ствола скважины или поломку бурильных труб.

Если же скорость подачи долота ниже скорости проходки, то нагрузка на забой уменьшается, что приводит к уменьшению скорости проходки.

Регуляторы типа РПДЭ-3 имеют ряд недостатков:

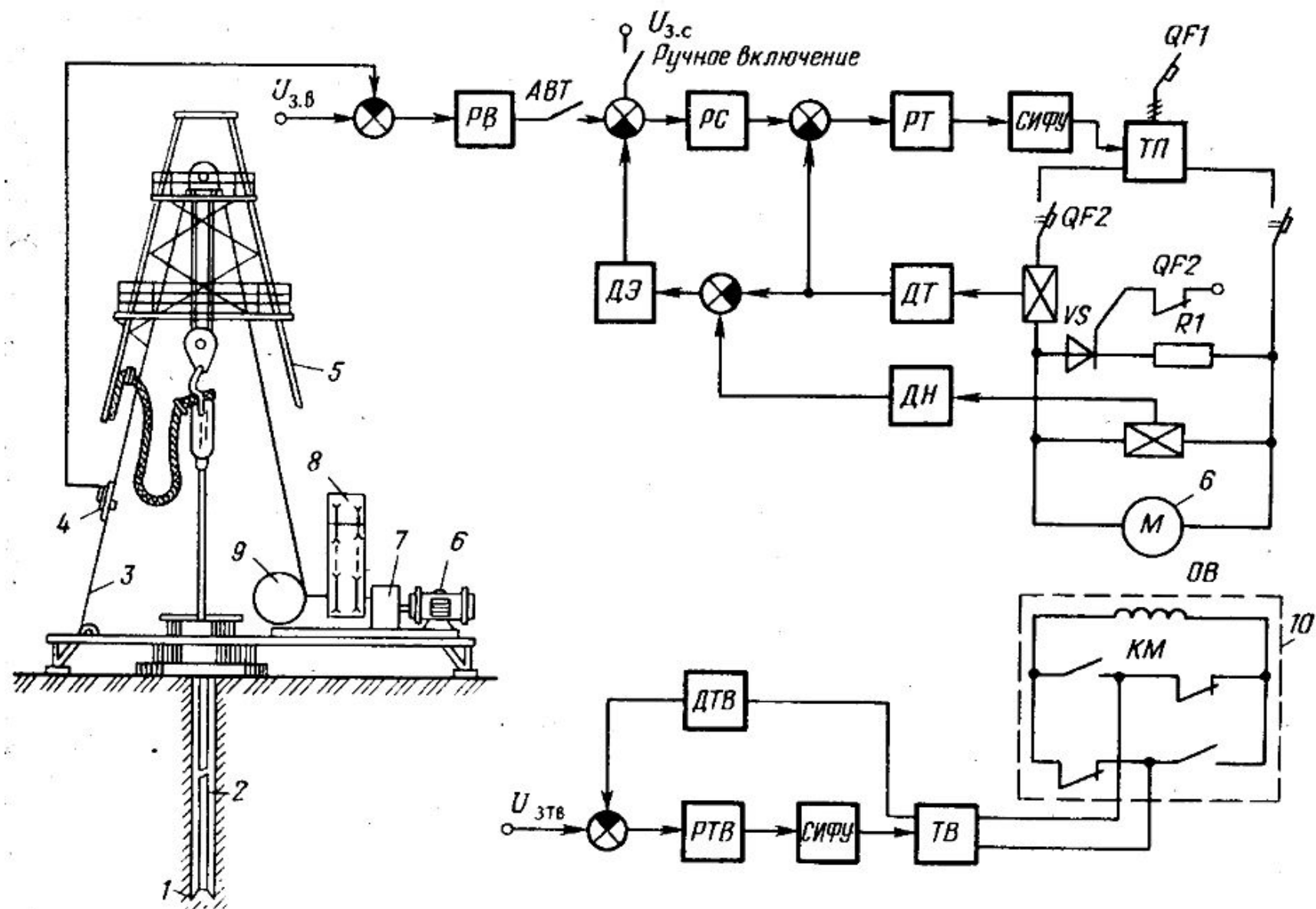
- низкий КПД;
- малая надежность электромашиного агрегата “приводной асинхронный двигатель - генератор – двигатель постоянного тока”;
- большая масса (материалоемкость);
- большие габариты;
- низкая скорость подачи долота.

Эти недостатки послужили для усовершенствования и дальнейшей разработки автоматических регуляторов подачи долота по системе “тиристорный преобразователь – двигатель”.

Разработаны регуляторы РПДЭ-6, РПДЭ-7, РПДЭ-8 и другие, которые обладают:

- высоким быстродействием;
- повышенным КПД;
- имеют меньшую массу и габариты,
- а так же - более экономичны, вследствие уменьшения числа электрических машин на буровой.

Наибольшее распространение получил регулятор подачи долота РПДЭ 7.



На структурной схеме РПДЭ – 7:

1 - долото; 2 - колонна бурильных труб; 3 - талевая система; 4 - датчик веса; 5 - буровая вышка; 6 - приводной электродвигатель постоянного тока; 7 - силовой узел (редуктор); 8 - цепная передача; 9 - барабан лебедки; 10 - блок возбуждения.

Схема построена по принципу подчиненного регулирования параметров.

На схеме показаны следующие блоки и устройства:

М - приводной электродвигатель 6; ТП - тиристорный преобразователь; СИФУ - система импульсно-фазового управления; РТ - регулятор тока якоря электродвигателя 6; ДТ - датчик тока якоря электродвигателя 6; [РТ и ДТ] - контур регулирования тока якоря электродвигателя 6; РС - регулятор скорости; ДЭ - датчик ЭДС; ДН - датчик напряжения; [РС, ДЭ, ДН] - контур регулирования частоты вращения электродвигателя 6; РВ - регулятор веса; [РВ и 4] - контур регулирования веса для автоматической подачи долота на забой с постоянной заданной нагрузкой; АВТ - автомат включения тока; ОВ - обмотка возбуждения электродвигателя 6; КМ-контакты магнитных пускателей для реверса электродвигателя 6; ТВ - тиристорный возбудитель; РТВ - регулятор тока возбуждения электродвигателя 6; ДТВ - датчик тока возбуждения.

Принцип работы РПДЭ – 7. При бурении режим автоматической подачи долота на забой с поддержанием заданной нагрузки на долото обеспечивается регулятором веса.

Изменение усилия на крюке при бурении приводит к изменению сигнала на выходе регулятора веса, являющегося задающим сигналом для контура регулирования частоты вращения.

При столкновении долота с более крепкой породой происходит резкое уменьшение усилия на крюке.

Благодаря этому, изменяется скорость подачи инструмента на забой, чем и обеспечивается поддержание заданной нагрузки на долото.

Благодаря действию обратной связи от датчика веса, сигнал на выходе регулятора веса изменяется таким образом, что электропривод приподнимает инструмент до восстановления заданной нагрузки на долото.

В случае исчезновения напряжения сети или отключения автоматов QF1 и QF2 в схеме предусмотрен режим аварийного динамического торможения, осуществляемого с помощью включенного в цепь якоря резистора R1 и тиристора VS.

Регулятор подачи долота типа РДПЭ-7, выполненный на основе силового тиристорного преобразователя, обеспечивает качественные статические и динамические характеристики; повышает надежность; увеличивает скорость подачи; сокращает число силовых агрегатов; уменьшает суммарную площадь, занимаемую электрооборудованием.

5. Принципы оптимального управления процессом бурения

В отличие от устройств подачи долота, поддерживающих на заданном уровне режим бурения, установленный бурильщиком в соответствии с геолого-техническим нарядом, **регуляторы оптимального управления должны сами выбирать оптимальный режим бурения по установленному критерию в функции быстро изменяющихся условий бурения.**

Под оптимизацией понимается процесс выбора наилучшего решения из множества допустимых вариантов в соответствии с количественным критерием.

Многие важнейшие вопросы оптимизации управления бурением скважин еще ждут своего решения

1. Не полностью исследованы вопросы помехоустойчивости измерения и преобразования измерительной информации в условиях работы буровой установки.

2. Не на должном уровне решены вопросы, моделирования процесса бурения и сбора технологической информации.

3. При измерении параметров бурения и обработке результатов измерения не корректируются методические погрешности, снижающие качество управления.

4. Алгоритмы поиска оптимальных режимов бурения разрабатываются вне связи с алгоритмами определения момента смены долота по его износу, а также без учета характера текущего взаимодействия долота с породой, т.е. не являются адаптивными.

5. Алгоритмы управления процессом бурения не изменяются по мере углубления скважины, тогда как ее углубление обуславливает применение различных критериев оптимальности.

Критерии оптимальности могут характеризовать:

1) мгновенные значения параметров процесса (мгновенная механическая скорость бурения, скорость износа породоразрушающего инструмента);

2) средние значения параметров процесса в течение одного рейса (средняя механическая скорость, рейсовая скорость бурения, продолжительность рейса, проходка за рейс, износ породоразрушающего инструмента);

3) средние значения параметров процесса в течение проходки всей скважины (коммерческая скорость бурения, техническая скорость бурения, время бурения скважины, стоимость 1 м бурения и т .д.).

Выбор соответствующего критерия для конкретных условий — сложная задача, поэтому в практике бурения применяется ограниченный набор критериев.

Установлено, что для достижения максимального темпа и снижения стоимости строительства скважины **необходимо по мере ее углубления применять критерии оптимизации в следующем порядке:**

- а) максимум механической скорости;**
- б) максимум рейсовой скорости;**
- в) минимум стоимости 1 м проходки;**
- г) максимум проходки на долото.**

Можно выделить три метода оптимизации работы долота.

1.Расчетный, основанный на предварительном расчете управляющих параметров, исходя из предполагаемых физико-механических свойств пород, а также из прочностных и конструктивных характеристик долот.

2.Прогнозирующий, основанный на предварительном исследовании обобщенных уравнений процесса бурения и расчете на этой основе значений управляющих параметров.

3. Оперативный, основанный на анализе оперативно поступающей обрабатываемой в реальном масштабе времени технологической информации и нахождении оптимальных значений управляющих параметров в ходе бурения.

Первые два метода оптимизации целесообразно объединить общим названием - **методы неоперативной оптимизации**, т.е. в данном случае задачи оптимизации решаются до начала рейса.

В отличие от расчетного и прогнозирующего **оперативный метод не предусматривает предварительного выбора оптимальных значений параметров процесса бурения.**

Значения этих параметров находятся в ходе самого рейса на основе оперативно поступающей и обрабатываемой технологической информации, отражающей существующее в каждый текущий момент времени взаимодействие долота с породой.

Принцип адаптации применительно к оперативному управлению процесса бурения заключается в том, что в связи с дрейфом характеристик объекта управления (увеличивающийся износ долота, рост температуры и сил сопротивления за счет углубления скважины, водопоглощение, зашламление забоя и т.п.) его математическую модель, а также параметры алгоритма поиска оптимального режима необходимо корректировать, используя оперативно поступающую информацию.

Задача оптимального управления процессом бурения сводится к построению системы экстремального регулирования.

Качество экстремального регулирования зависит от того, какой критерий оптимума положен в основу схемы устройства экстремального регулятора. Наиболее простым критерием относительно его технической реализации при турбинном бурении является максимум механической скорости бурения.

Исследования показывают:

оптимальной мощности на турбобуре и скорости бурения соответствует оптимальное значение осевой нагрузки на долото.

Максимумы на кривых мощности в функции частоты вращения $N=f(n)$ и скорости бурения в зависимости от осевых нагрузок на долото $v_B=f(G_D)$ очень близки или совпадают.

Механическая характеристика турбобура при постоянном расходе промывочной жидкости будет

$$n = n_{X.X} (1 - M/M_T), \quad (8)$$

где: n - частота вращения турбобура;

$n_{X.X}$ - частота вращения турбобура на холостом ходу;

M - момент на валу турбобура;

M_T - тормозной момент.

Момент M можно связать с нагрузкой на долото G_D через удельный момент M_y , постоянный для данной породы и степени износа долота

$$M = M_y G_D. \quad (9)$$

Для шарошечных долот скорость бурения v_B можно выразить через осевую нагрузку G_D и частоту вращения n

$$(10)$$

где : $\beta \approx 1$;
$$v_z = k_1 G_D^\beta n^\alpha,$$

α - изменяется от 0,25 до 1, в зависимости от твердости породы;

k_1 - заданный коэффициент, который так же зависит от твердости породы.

Принимая $\alpha = 1$, получаем

$$v_B \approx k_I G_D n. \quad (3.11)$$

Подставляя (3.8) и (3.9) в (3.11), получаем выражение для скорости бурения

$$v_B = k_2 G_D (12) k_3 G_D^2,$$

где: $k_2 = n_{XX} k_I$, $k_3 = n_{XX} k_I M_Y / M_T$.

Из уравнения (12) следует, что зависимость $v_B = f(G_D)$ имеет экстремум, который смещается при изменении крепости породы или износе долота, т.е. при изменении удельного момента M_Y .

Следовательно, при оптимальном управлении необходим поиск экстремума.

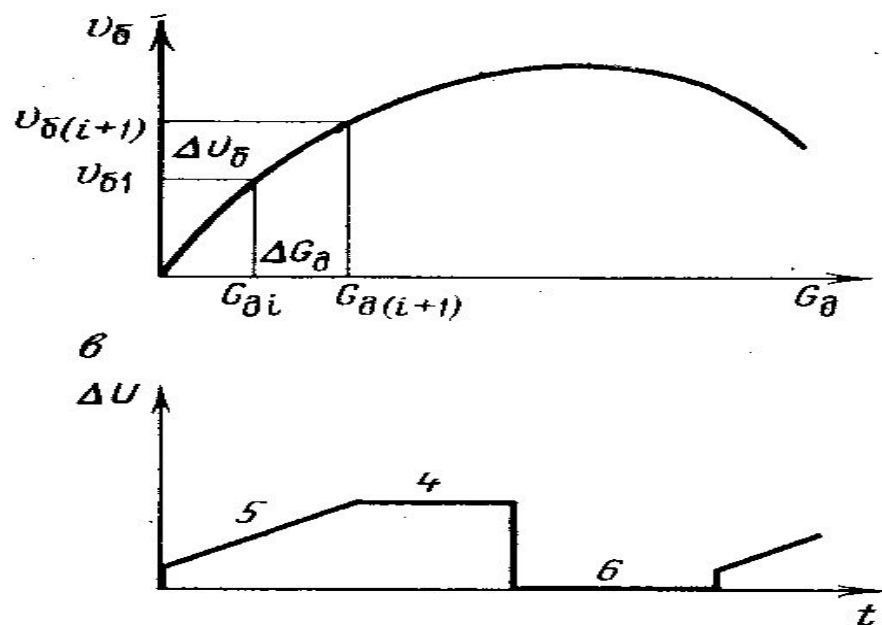


Рисунок 7- График, поясняющий поиск экстремума при оптимальном управлении подачей долота.

Реализация критерия: вводится пробный импульс

$$\Delta G_D = G_{D(i+1)} - G_{Di},$$

увеличивающий нагрузку на долото, и по окончании переходного процесса измеряется величина

$$\Delta v_B = v_{B(i+1)} - v_{Bi}.$$

При $\Delta v_B > 0$ рабочий импульс $\Delta G_{B(i+2)}$ увеличивает нагрузку на долото, и, наоборот, **при $\Delta v_B < 0$** , нагрузка уменьшается.

Если знак пробного импульса не меняется, т. е. всегда $\Delta G_{Di} > 0$, то можно определить знак производной dv_B/dG_D только по знаку производной dv_B/dt .

2. Структурная схема САР

Задачей системы автоматического регулирования (САР) является поддержание регулируемого параметра на заданном уровне.

Технологическими параметрами процессов в нефтяной и газовой промышленности являются: температура T , давление p , расход F , уровень L , показатель качества Q (плотность, вязкость и т.п.). Заданные значения параметров имеют индекс «0».

Таким образом, задача стабилизации технологических параметров в системе может быть представлена как:

$$T = T_0; p = p_0; F = F_0; L = L_0, Q = Q_0.$$

Рис. 9.10. Структурная схема исполнительного устройства

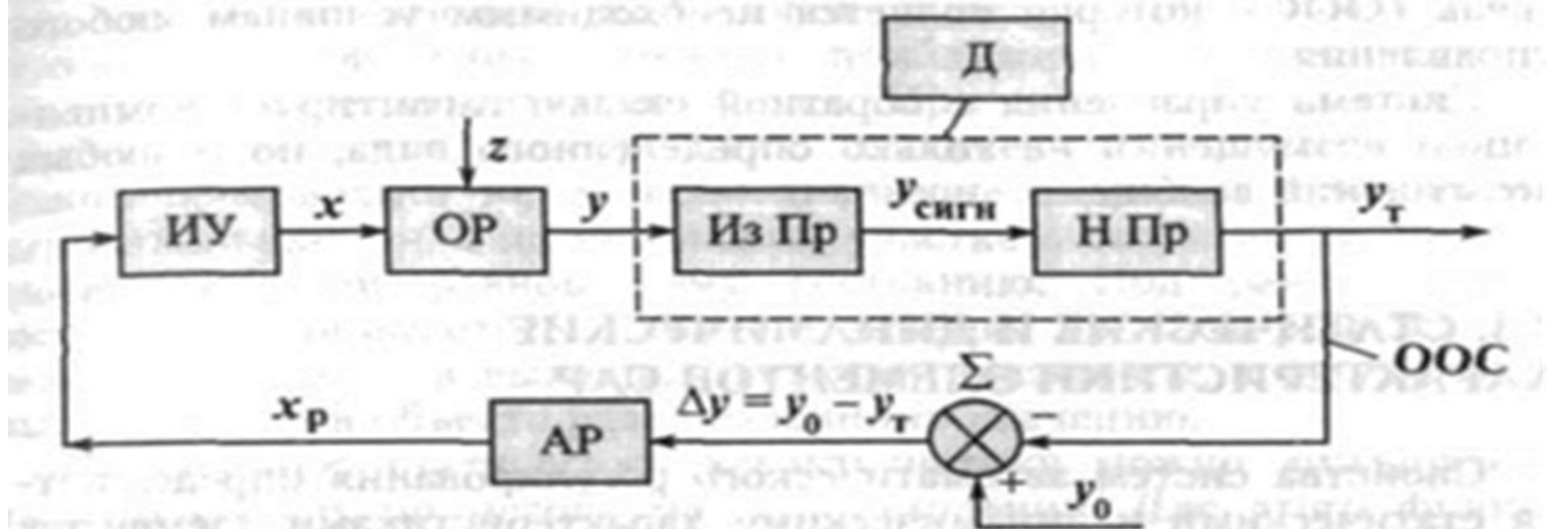
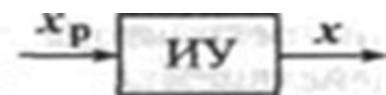


Рис. 9.11. Структурная схема САР

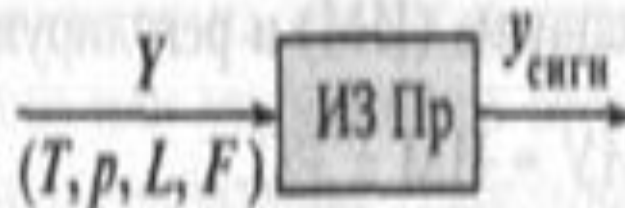
Основными элементами САР являются: измерительный преобразователь, нормирующий преобразователь, датчик, контроллер или автоматический регулятор, исполнительное устройство.

Измерительный преобразователь предназначен для измерения параметра и преобразования его в сигнал в форме, удобной для передачи.

Измерительная информация представляется преобразователями обычно в виде сигналов постоянного или переменного тока или напряжения, или давления сжатого воздуха.

Примером измерительного преобразователя может служить термопара. Входным параметром термопары является температура в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$), а на выходе мы имеем термоэлектродвижущую силу - ТЭДС в милливольтках (мВ).

Рис. 9.6. Структурная схема измерительно-го преобразователя



Нормирующий преобразователь предназначен для получения стандартного (унифицированного) сигнала.

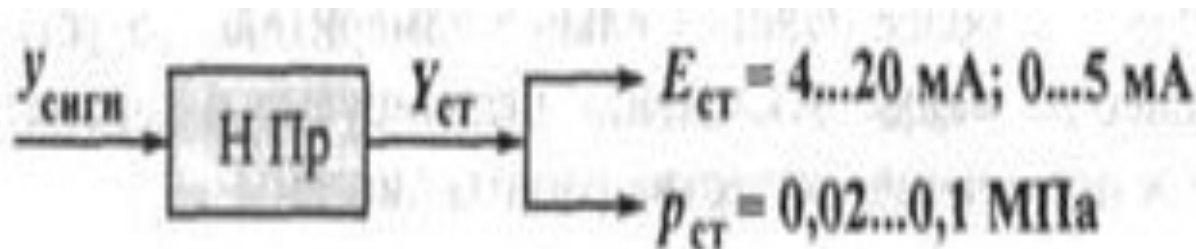


Рис. 9.7. Структурная схема нормирующего преобразователя

В нормирующих преобразователях для преобразования используются дополнительные источники энергии: электричество или давление сжатого воздуха.

- **Датчик** (рис. 9.8) преобразует регулируемый параметр в стандартный сигнал. Датчик включает в себя измерительный преобразователь и нормирующий преобразователь.

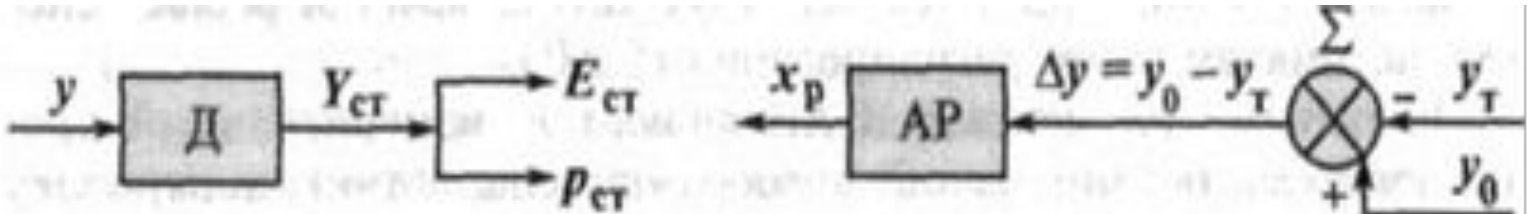


Рис. 9.8. Структурная схема датчика

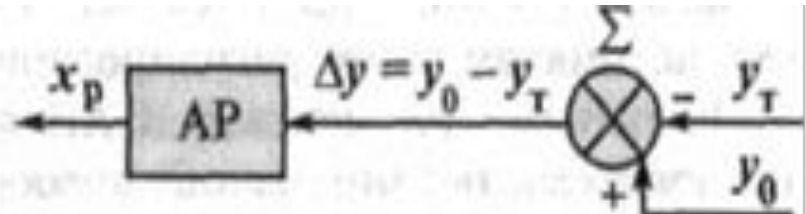


Рис. 9.9. Структурная схема автоматического регулятора

Автоматический регулятор (рис. 9.9) предназначен для выработки регулирующего воздействия x_p .



На автоматический регулятор поступают два сигнала - текущее значение регулируемого параметра y_T и заданное значение регулируемого параметра y_0 , установленное оператором.

Автоматический регулятор сравнивает эти два значения, определяет отклонение текущего значения y_T от заданного y_0 и, в случае наличия рассогласования

$$\Delta y = y_0 - y_T,$$

вырабатывает регулирующее воздействие x_p , направленное на устранение данного рассогласования.

- **5. Законы регулирования**

В промышленных системах находят применение три основных аналоговых закона регулирования: **пропорциональный (П), пропорционально-интегральный (ПИ) и пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) законы регулирования.**

Пропорциональные - это регуляторы, у которых регулирующее воздействие x_p изменяется пропорционально изменению входной величины - рассогласованию Δy .

$$x_p = k\Delta y,$$

где k - коэффициент пропорциональности регулятора, являющийся его настроечным параметром.

При возмущающих воздействиях П - регулятор приводит объект в равновесное состояние, но со статической ошибкой.

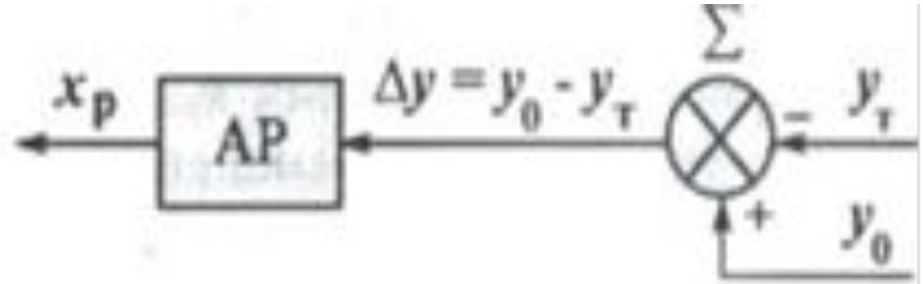


Рис. 11.4. Структурная схема автоматического регулятора

Основным достоинством П-регуляторов является наличие пропорциональной зависимости между скоростью перемещения регулирующего органа и скоростью изменения регулируемого параметра

● **Пропорционально-интегральными** называются регуляторы, у которых изменение выходной величины x_p пропорционально как изменению входной величины Δy , так и интегралу её изменения:

$$x_p = k\Delta y + \frac{1}{T_{\text{и}}} \int_0^t \Delta y dt,$$

где k - коэффициент усиления регулятора, $T_{\text{и}}$ - время интегрирования, настроечные параметрами регулятора.

Выходная величина складывается из двух составляющих: пропорциональной – П и интегральной – И, которая отрабатывает статическую погрешность П – регулятора.

- **Пропорционально-интегрально - дифференциальные регуляторы** (ПИД-регуляторы) имеют вид

$$x_p = k\Delta y + \frac{1}{T_{\text{и}}} \int_0^t \Delta y dt + T_{\text{д}} \frac{dy}{dt},$$

где k - коэффициент усиления; $T_{\text{и}}$ - время интегрирования; $T_{\text{д}}$ - время дифференцирования, которые являются настроечными параметрами регулятора.

При наличии Д-составляющей выходная величина регулятора x_p изменяется с некоторым опережением относительно входной величины, пропорциональным скорости её изменения dy/dt .

ПИД-регулятор можно рассматривать как систему, состоящую из параллельно соединенных усилительного, интегрирующего и идеального дифференцирующего звеньев.

- **6. Выбор типа автоматического регулятора.**

Тип автоматического регулятора (закон регулирования) выбирается с учётом свойств объекта регулирования и заданных показателей качества переходного процесса: перерегулирование (не более 20%), статическая ошибка (не более 5%), время регулирования (не более 3-Т).

При выборе закона регулирования учитывается величина отношения постоянной времени объекта T к времени запаздывания τ , т.е. T/τ :

$T/\tau > 1,0$ - П-регулятор;

$10 > T/\tau > 7,5$ - ПИ-регулятор;

$7,5 > T/\tau > 3$ - ПИД-регулятор.

- **7. Влияние параметров настройки на показатели качества регулирования**

Влияние параметров настройки регулятора на форму переходного процесса рассмотрим на примере САР с ПИД-регулятором:

$$x_p = k\Delta y + \frac{1}{T_{\text{и}}} \int_0^t \Delta y dt + T_{\text{д}} \frac{dy}{dt}.$$

7.1. Влияние изменения коэффициента усиления k .

Рассмотрим два вида переходных процессов для различных значений коэффициентов усиления.

Переходные процессы:

1 - коэффициент усиления k_1 ;

2 - коэффициент усиления $k_2 > k_1$.

- Вывод: увеличение коэффициента усиления приводит к увеличению динамической ошибки (увеличивается $y_{\text{дин } 2} > y_{\text{дин } 1}$) и уменьшению времени регулирования $t_{p2} < t_{p1}$.

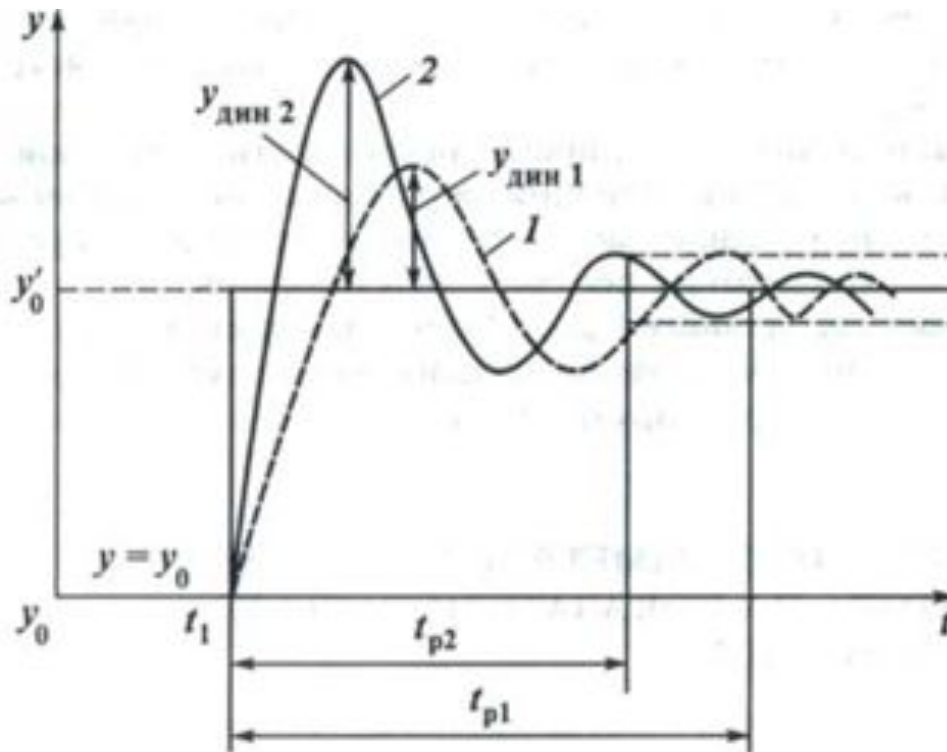


Рис. 11.5. Влияние коэффициента усиления k на показатели качества переходных процессов

- 7.2. Влияние изменения времени интегрирования $T_{\text{и}}$.

Время интегрирования переходного процесса 1 - $T_{\text{и}1}$ и переходного процесса 2 - $T_{\text{и}2}$; $T_{\text{и}2} > T_{\text{и}1}$.



- 7.2. Влияние изменения времени интегрирования $T_{\text{и}}$.

Время интегрирования переходного процесса 1 - $T_{\text{и}1}$ и переходного процесса 2 - $T_{\text{и}2}$; $T_{\text{и}2} > T_{\text{и}1}$.



- Увеличение времени интегрирования уменьшает воздействие регулятора на объект регулирования и, как следствие, приводит к изменению показателей качества регулирования:

$$u_{\text{дин } 2} < u_{\text{дин } 1}; t_{p 2} > t_{p 1},$$

т.е. увеличение времени интегрирования $T_{\text{и}}$ затягивает продолжительность переходного процесса.

При этом, устраняется статическая погрешность в обоих случаях.

- **7.3 Влияние изменения времени дифференцирования.**

Переходный процесс 1 получен для T_d , переходный процесс 2 - для $T_{d2} > T_{d1}$. Результат: динамическая ошибка увеличивается $y_{дин 2} > y_{дин 1}$, время регулирования уменьшается $t_{p2} < t_{p1}$.

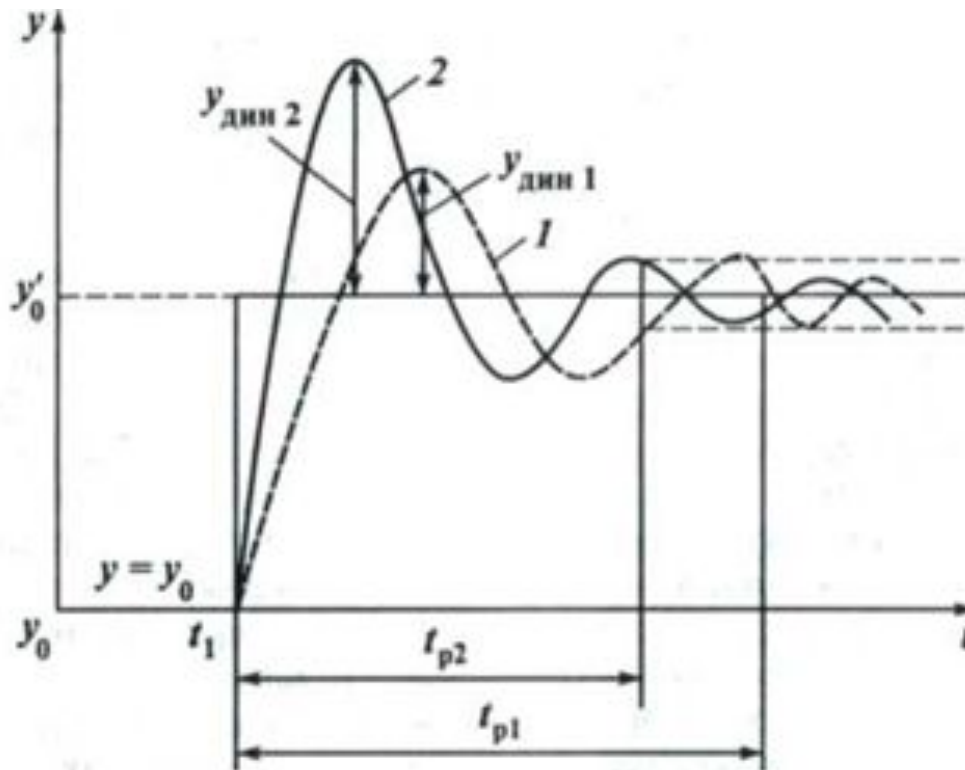


Рис. 11.7. Влияние времени дифференцирования T_d на показатели качества переходных процессов

Меняя настроечные параметры регулятора, можно получить желаемые показатели качества регулирования: время регулирования, динамическую и статическую ошибки.

Развитие автоматизации технологических процессов – основа перехода на новый технологический уклад экономики России.