

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ БУРОВЫМИ МАШИНАМИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

В. А. Яцкевич

Новочеркасск

Проводимые в последние годы исследования оптимальных режимов работы бурильных машин [1, 2, 3, 4] показали, что в существующем буровом оборудовании заложены значительные резервы роста производительности труда, которые можно реализовать путем автоматизации ряда вспомогательных операций и настройки бурильной машины на оптимальный режим.

Таким образом, разработка системы автоматического управления буровыми машинами и настройки их на оптимальный режим является актуальной задачей.

Для создания системы автоматического управления необходимо выбрать и обосновать объект автоматизации. Однако анализ буровых машин показал, что существующие механизмы вращательного бурения из-за больших размеров и веса, малой маневренности, жесткой связи системы вращения с системой подачи, а также невозможности плавного регулирования параметров в процессе бурения нельзя использовать в качестве объекта автоматизации. На основании изучения новейшей технологии бурения, применяемой передовыми буровыми машинами, режимов работы буровых машин при ручном управлении и опыта, накопленного различными исследованиями, авторами были разработаны требования, которым должна удовлетворять система автоматического управления и регулирования режимов работы буровых машин, а также сама машина как объект автоматизации. Согласно этим требованиям такая система должна быть

- 1) простой как в схемном решении, так и по конструкции;
- 2) иметь элементы с высокой надежностью и безотказностью в условиях значительных вибраций, взрывобезопасные, пригодные к работе в атмосфере со значительным содержанием пыли и влаги;
- 3) обеспечивать пробуривание шпура на заданную глубину без смены штанг и возвращение инструмента в исходное положение с высокой скоростью;
- 4) самостоятельно следить за условиями бурения и при их изменении выполнять следующие операции:
 - а) устанавливать оптимальный режим бурения;
 - б) поддерживать установленный режим в процессе работы и производить коррекцию его по мере затупления инструмента;
 - в) обеспечивать защиту инструмента от поломок при резких динамических нагрузках (заклинивание, «прихват» и т. д.) и перестройку режима для проработки щелей и пустот, явившихся их причиной;
 - г) обеспечивать полное использование подводимой энергии на разрушение пород;

5) сигнализировать о наличии аварийных режимов и перегрузок, а также обеспечить защиту от них буровой машины и ее двигателя, для контроля эффективности и процесса бурения — датчик скорости подачи;

6) иметь переход с ручного управления на автоматическое и наоборот;

7) быть устойчивой при широком диапазоне изменений задающих и возмущающих воздействий.

Для удовлетворения требования 3 и 4 конструкция буровой машины должна иметь независимый привод вращения и подачи с плавным регулированием скорости вращения и усилия подачи инструмента на забой. Необходимо, чтобы диапазоны регулирования для пород крепостью $f = 4 \div 10$ находились в пределах $\omega = 180 \div 500$ об/мин; $F_{ос} = 200 - 1500$ кг. Кроме того, инвариантность установленных параметров режима бурения от внешних возмущений может быть обеспечена, если характеристики приводов вращения и подачи достаточно жесткие.

Конструкция буровой машины должна быть компактной и легкой, так как от этого в значительной мере зависит трудоемкость и длительность вспомогательных операций.

Ниже предлагается описание буровой машины с автоматическим управлением и самонастройкой на оптимальный режим бурения, разработанной на кафедре «Электрификация и автоматизация горных работ» Новочеркасского политехнического института, которая может удовлетворить данным требованиям и является одним из вариантов общей задачи автоматизации процесса бурения.

Гидрокинематическая схема сверла

Гидрокинематическая схема предлагаемого сверла дана на рис. 1. Она включает следующие элементы: собственно сверло, силовую установку с маслостанцией и панель управления.

Собственно сверло состоит из привода вращения штанги, в качестве которого используется аксиально-поршневой гидродвигатель, питающийся от насоса переменной производительности, и двух цилиндров, питающихся от шестеренного насоса, которые при помощи штоков, жестко связанных траверсой, подают штангу на забой. Осевое усилие поршней к штанге при подаче вперед передается специальным зажимным патроном, позволяющим автоматически перехватывать штангу. Вес такого сверла при мощности двигателя в 5 квт составит около 50 кг. Все это, вместе взятое, значительно повышает коэффициент машинного времени.

Сверло, разработанное по предлагаемой схеме, можно использовать как для бурения с колонки (в этом случае силовая и регулирующая аппаратура устанавливается на подвижной тележке), так и в качестве навесного оборудования для погрузочных машин и буровых кареток. Второму варианту следует отдать предпочтение, так как в этом случае появится возможность использовать в качестве приводного двигателя и маслостанции оборудование, имеющееся на погрузочной машине или буровой каретке.

Рабочая жидкость к гидроприводу вращения и подачи подается от насосов силовой установки гибкими штангами. Такая компоновка позволяет располагать сверла в любом положении относительно маслостанции.

Гидродвигатель вращения и насос переменной производительности соединены так, что образуют замкнутую систему гидравлической объемной передачи. Утечка жидкости из нее компенсируется через подпиточный клапан, который вместе с насосом установлен прямо в маслобаке. Скорость вращения гидродвигателя управляют, изменяя производитель-

ность насоса при изменении угла наклона его планшайбы. Защита двигателя от перегрузок производится ограничителем момента, который выполнен в виде гидравлического реле, включенного в напорную магистраль. Такая схема включения гидродвигателя обладает рядом ценных свойств, которые обеспечивают ей преимущества перед другими типами гидро- и электропривода [5].

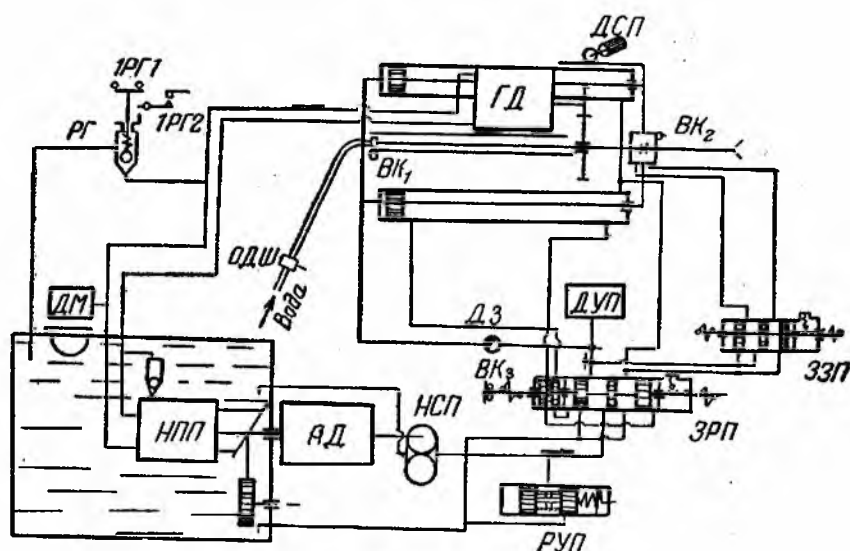


Рис. 1.

Управляют системой подачи и зажимным патроном два распределительных золотника с электрогидравлическим управлением. Дроссель в напорной магистрали дает возможность забуриваться на малой скорости.

Усилие подачи инструмента на забой регулируется редукционным клапаном, путем изменения усилия зажатия пружины.

Принципиальная электрическая схема и порядок ее работы

На рис. 2 приведена принципиальная электрическая схема, которая в сочетании с гидрокинематической схемой позволяет автоматизировать ряд вспомогательных операций и производить самонастройку сверла на оптимальный режим. Она состоит из регулятора режимов работы, системы управления золотниками, системы защиты и системы сигнализации.

Схема обеспечивает возможность дистанционного управления буровой машиной с переносного пульта, который находится непосредственно возле машины или в любом месте забоя. Для этого в схеме управления цепи ручного и автоматического управления дублируются.

Забуривание осуществляется при ручном управлении. Перед забуриванием оператор приводит сверло в исходное положение. Для этого тумблерами T_1 и T_2 он включает серводвигатели регуляторов до тех пор, пока не загорится зеленая лампочка. Это означает, что серводвигатели установили максимальное усилие и минимальные обороты, а концевые выключатели $ВК_{И1}$ и $ВК_{И2}$ (выключатель концевой исходный) отключили их и включили цепь сигнализации.

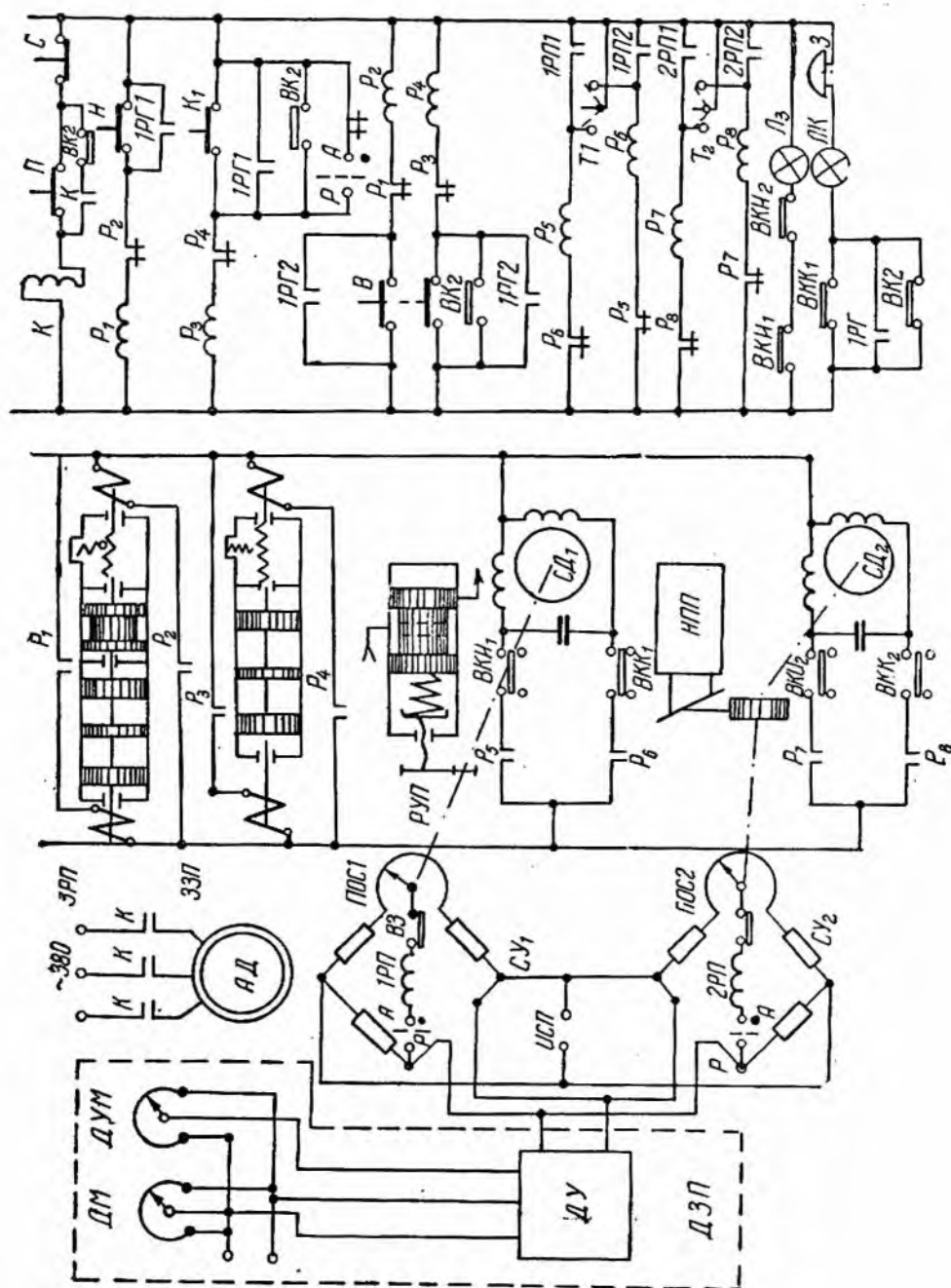


Рис. 2.

После этого оператор включает двигатель вращения насосов и подачу «вперед». При этом оба золотника (золотник реверса и подачи ЗРП и золотник зажимного патрона ЗЗП) перемещаются на крайнее правое положение, патрон зажимает штангу и поршни подают ее вперед.

Дросселем ДЗ (дроссель забуривания) оператор регулирует скорость подвода штанги к забою.

Забурившись, оператор переключает схему на автоматическое управление и ставит дроссель ДЗ в нейтральное положение. Регулятор устанавливает режим бурения в соответствии с забойными параметрами и поддерживает его на протяжении всего процесса. В крайнем правом положении, когда шпур пробурен на глубину хода поршня, напорная магистраль соединяется с ЗРП и реверсирует его, после чего сразу перекрывается. При этом патрон разжимается и вместе со штоками возвращается в исходное положение. В момент возврата вращающий момент на штанге отсутствует. Поэтому, чтобы регулятор не изменял параметры режима, на этот промежуток времени он отключается концевым выключателем ВК₃. В крайнем левом положении вновь реверсируется ЗРП, зажимается патрон, включается регулятор и бурение продолжается. Вместе со штангой в кожух шпинделя входит промывочный шланг, на котором закреплен ограничитель длины шпура (ОДШ). Когда шпур пробурится на нужную глубину, ОДШ нажимает на концевой выключатель ВК₁, установленный на кожухе шпинделя. ВК₁ производит реверс золотника зажима патрона (ЗЗП). При этом патрон освобождает штангу и скользит вдоль нее до тех пор, пока поршни не придут в крайнее правое положение. После этого происходит процесс вытягивания штанги. При ходе штоков назад патрон зажимается, а вперед — разжимается. Процесс повторяется до тех пор, пока штанга не будет полностью вынута. Нажав резцом на концевой выключатель ВК₂, она реверсирует золотник зажимного патрона, отключает асинхронный двигатель и включает сигнализацию. Оператор на ручном управлении приводит схему в исходное положение для забуривания нового шпура. Для этого он переключатель «ручное» и «автоматическое» ставит в положение «ручное», а затем тумблерами Т₁ и Т₂ устанавливает минимальное усилие подачи и скорость вращения. ЗРП включает подачу «назад» и включает АД. При этом штоки возвращаются в крайнее левое положение, золотник ЗРП реверсирует подачу и оператор, регулируя дросселем скорость подвода штанги к забою, забуливается.

Работа регулятора

Основным элементом регулятора режимов бурения является датчик забойных параметров, который следит за изменением условий бурения [6]. Он состоит из датчика вращающего момента ДМ, датчика усилия подачи ДУП и делительного устройства ДУ. Принцип действия его основан на свойстве равенства моментов: внешнего момента сопротивления, приложенного к машине со стороны забоя, и внутреннего, создаваемого машиной. При любом рассогласовании этих моментов в результате изменения внешних условий момент, создаваемый машиной, будет изменяться в сторону уничтожения этого рассогласования. Поскольку момент сопротивления есть функция $M_c = \Phi \left(F_{oc}; \frac{1}{f}; \Delta \right)$, где все величины, кроме F_{oc} , есть параметры, характеризующие состояние забоя и инструмента, то вращающий момент будет функцией этих же величин, т. е. $M_{вр} = \Phi \times \times \left(F_{oc}; \frac{1}{f}; \Delta \right)$. Здесь F_{oc} — усилие подачи, f — коэффициент крепости породы по М. М. Протодяконову, Δ — затупление инструмента.

Разделив сигнал с датчика момента на сигнал с датчика усилия, мы на выходе делительного устройства получим сигнал, характеризующий только внешние условия бурения. Этот сигнал поступает в одно из плеч двух сравнивающих устройств СУ₁ и СУ₂, другим плечом которых служат потенциометры обратных связей. Характеристики этих потенциометров соответствуют тенденции изменения оптимальных скоростей вращения и оптимальных усилий подачи в зависимости от крепости как основной величины, от которой зависят показатели эффективности бурения [6]. Сигнал рассогласования со сравнивающих устройств поступает на вход усилителей, которые управляют двумя серводвигателями СД₁ и СД₂. Двигатели регулируют усилие подачи и скорость вращения штанги в соответствии с характеристиками ПОС1 и ПОС2 и сигналом с ДЗП до тех пор, пока не устранится разбаланс сравнивающих устройств, т. е. пока не будет установлен оптимальный режим. В процессе бурения инструмент затупляется, а значит, и установленные параметры отклоняются от оптимальной величины. Поскольку затупление оказывает на систему такое же влияние, как увеличение крепости, то регулятор производит непрерывную коррекцию установленных параметров в сторону увеличения осевого усилия и незначительного уменьшения скорости вращения. Такая коррекция препятствует падению скорости из-за затупления и в пределах допустимого усилия заставляет работать бурильную машину в режиме, близком к принудительной подаче.

При переходе в другую породу регулятор устанавливает оптимальный режим с учетом предыдущей коррекции на затупление, т. е. оптимальный режим для притупления реза. Коррекция будет производиться до тех пор, пока усилие подачи не достигнет максимально допустимого для данного сверла. При этом регулирование прекратится и концевой выключатель ВКК1 включит сигнализацию. Дальше бурение идет при постоянном усилии подачи, а рациональность его определяет оператор по указанию скорости бурения.

Различные другие возмущающие воздействия, которые ведут к увеличению сигнала с длительного устройства ДУ, действуют на систему в обратном порядке, т. е. уменьшают усилие подачи и увеличивают скорость вращения. При этом не допускается перегрузка двигателя, а подводимая энергия все время перераспределяется так, что максимум ее идет на разрушение породы и минимум на износ.

Если резец попадает в щели и пустоты и происходит «прихват» инструмента, момент резко возрастает, но резец не ломается, потому что практически мгновенно срабатывает гидравлическое реле защиты РГ. Как показали опыты быстрое действие защиты надежно защищает инструмент от поломок.

При срабатывании защиты контакты реле 1РГ1 включают предупредительную сигнализацию и производят реверс обоих золотников ЗРП и ЗЗП. При этом инструмент начинает вытаскиваться из пустоты, а регулятор устанавливает режим для ее разбуривания (уменьшает усилие подачи и увеличивает обороты). Как только инструмент освободится от «прихвата», срабатывают контакты 1РГ2 и вновь производят реверс золотников. Сверло на новом режиме начинает разбуривание. Если снова произойдет «прихват», то процесс повторится.

Такой регулятор разработан и испытан авторами. Испытания проводились на стенде при бурении блоков пород перемежающейся крепости [7] и на аналоговой вычислительной машине, где исследовалась реакция регулятора на самые различные возмущающие воздействия. Как показали испытания, регулятор обеспечивает устойчивую качественную работу бурильной

машины в различных условиях бурения. Система четко реагирует на все виды возмущений с забоя, воспринимаемые через ДЗП.

Таким образом, предполагаемая схема автоматизации бурильной машины позволяет:

- 1) повысить коэффициент машинного времени благодаря малому весу и автоматизации целого ряда вспомогательных операций;
- 2) значительно увеличить скорость бурения вследствие непрерывной настройки бурильной машины на оптимальный режим работы;
- 3) получить экономию путем снижения расхода резцов и сокращения времени на обслуживание, так как один оператор сможет обслуживать две навесных бурильных машины.

ЛИТЕРАТУРА

1. О. Д. Алимов, Л. Д. Дворников. Бурение шпуров электровращательным способом. Известия ТПИ, Томск, т. 129, 1965,
2. Г. Н. Покровский. Основные закономерности при вращательном бурении шпуров с постоянным усилием подачи. Труды ЗСФ АН СССР, вып. 19, Новосибирск. 1957.
3. А. А. Волков. Перспективы создания буровых установок с самонастраивающимися системами управления, «Известия вузов», Г. Ж., №1, 1963.
4. А. Д. Имас, В. Л. Азарх. Методы повышения производительности вращательного бурения шпуров ручным и колонковым сверлами. Изд-во «Недра», 1954.
5. В. Н. Хорин. Гидропривод забойного оборудования, Изд-во «Недра», 1963.
6. В. А. Яцкевич, В. Т. Загороднюк. Принцип автоматической настройки параметров вращательного бурения на оптимальный режим. Сб. «Горная электромеханика и автоматика», вып. 5, Изд-во ХГУ, Харьков, 1966.
7. В. А. Яцкевич, В. Т. Загороднюк. Экспериментальные исследования системы автоматической настройки сверла на оптимальный режим. Сб. «Автоматизация проходческих работ», Труды НПИ, т. 176, Новочеркасск, 1967.