

УДК 622:621.313

**ЖЫШТЫКТУУ-ЖӨНДӨМДӨЛҮҮЧҮ ЭЛЕКТР
КЫЙМЫЛКЕЛТИРГИЧТҮҮ БУРГУЛООЧУ ТЕС
БУРОВОЙ СТАНОК С ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМ
ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ
DRILLING MACHINE WITH FREQUENCY CONTROLLED
ELECTRIC DRIVE**

А. В. Анохин, С. Ф. Мурашова

A. V. Anokhin, S. F. Murashova

Макалада бургулоо жабдууларында жөнгө салынуучу электр кыймылктелтиргичтин колдонуу боюнча сунуштар берилген. Электр кыймылдаткычын туура тандоосу, ошондой эле берилген өндүрүштүк жана технологиялык жараянды аткарууда аны жөнгө салуу ыкмасы, атап айтканда бургулоо, жумушчу машинаны коопсуздук, ишенимдүүлүк жана бышыктык менен камсыздай алат. Жөндөмдөлүүчү электр кыймылктелтиргич ылдамдыкты жөндөмдөөчү кеңири диапазонунда ашыкча жүктөө мүмкүнчүлүктөрүнө ээ болушу керек, мындан тышкары, электр кыймылктелтиргичтин башкаруу системасы турукташкан иш шарттамында ийин кичтич чектөөсү керек. Бүгүнкү күндө бургулоочу жабдуулардын саны улам көбүрөөк өзгөрүлмө агындын электр кыймылктелтиргичтин кайра жабдууланып жатышат. Мунун түшүндүрмөсү, микроэлектрониканын прогресси болуп саналат, анын колдонулушу өзгөрүлмө агындык электр кыймылдаткычты чакан микроэлементтердин жардамы менен колдонууга башкаруу алгоритмдерин ишке ашырууга мүмкүндүк берет. Жүктөөгө жараша иш аткаруучу мүчөнүн ылдамдыгын өзгөртүүсү менен, ошондой эле токтотуу, тездетиш жана баштоо аймактарында оптималдуу шарттамын колдоо жолу менен ассинхрондук электр кыймылдаткычты жыштык өзгөрткүч менен жабдуулоо анын иш шарттамын автоматташтырууга микмкциндик берет.

В статье даны рекомендации по применению регулируемого электропривода на буровом оборудовании. Правильно сделанный выбор электродвигателя, а также способа его регулирования при выполнении заданного производственно-технологического процесса, в частности бурения, способны обеспечить рабочей машине безопасность, надёжность и долговечность. Регулируемый электропривод должен обладать высокими перегрузочными способностями в широком диапазоне регулирования скорости, причем система управления электроприводом должна ограничивать момент в установившихся режимах работы. Всё большее число бурового оборудования сегодня переоснащается на регулируемые электроприводы переменного тока. Объяснением этому служит про-

гресс в микроэлектронике, применение которой позволяет с помощью небольших микроэлементов реализовать алгоритмы управления электродвигателя переменного тока. Оснащение асинхронного электродвигателя частотным преобразователем позволяет автоматизировать режим его работы, изменяя скорость вращения исполнительного органа, в зависимости от нагрузки, а также поддерживая оптимальные режимы на участках торможения, разгона, остановки и пуска.

The article provides recommendations for the use of an adjustable electric drive on drilling equipment. The correct choice of the electric motor, as well as the method of its regulation when performing a given production and technological process, in particular drilling, can ensure the safety, reliability and durability of the working machine. The adjustable electric drive must have high overload capabilities in a wide range of speed control, and the electric drive control system must limit the torque in steady-state operating modes. An increasing number of drilling equipment today are being re-equipped with adjustable AC electric drives. The explanation for this is the progress in microelectronics, the use of which allows using small microelements to implement control algorithms for an alternating current electric motor. Equipping an asynchronous electric motor with a frequency converter allows you to automate its operation mode by changing the speed of rotation of the executive body, depending on the load, as well as maintaining optimal modes in the areas of braking, acceleration, stopping and starting.

Түйүн сөздөр: жөнгө салынуучу электр кыймылдаткучу; жыштыкты жөнгө салуу; инвертор; электромеханикалык өзгөрткүч; жыштык өзгөрткүч; эки өзүнчө кыймылдаткучу мамыча.

Ключевые слова: регулируемый электропривод; частотное регулирование; инвертор; электромеханический преобразователь; частотный преобразователь; двойная раздельно приводная колонна.

Keywords: adjustable electric drive; frequency control; inverter; electromechanical converter; frequency converter; double separately driven column.

В ранее проводимых исследованиях в области бурения высокоточных направленных скважин в качестве энергосиловой установки предполагалось использование регулируемого гидропривода, т. к. он обладает рядом преимуществ по сравнению с другими приводами, основными из которых являются: соотношение мощности двигателя к его массе и возможность плавного регулирования частоты его вращения при высоких показателях крутящего момента. Данные параметры играют наиболее важную роль при бурении глубоких скважин по перемежающимся горным породам. Но главная цель проводимых исследований заключалась в создании принципиально нового бурового снаряда с породоразрушающим инструментом, позволяющим осуществлять бурение практически прямолинейных скважин с минимальным отклонением. В качестве бурового снаряда и бурильного механизма была предложена двойная

колонна труб с отдельным приводом, на которые были получены авторское свидетельство и патент [1, 2]. Суть изобретения состоит в том, что буровой инструмент жестко связан с внутренней колонной труб, установленной относительно наружной на подшипниковых опорах. Наружная, медленно вращающаяся колонна труб служит для центрирования внутреннего бурового става относительно оси вращения и его защиты от воздействия на стенки скважин, а также формирования канала для очистного агента [3]. Двойной отдельно приводной буровой став позволяет практически без потерь передавать осевое усилие и крутящий момент на породоразрушающий инструмент при значительной глубине скважины. Разгрузка наружной колонны труб от передачи усилия на породоразрушающий инструмент обеспечивает сохранение устойчивости всей колонны труб в широком диапазоне нагрузок и позволяет осуществлять бурение практически прямолинейных скважин с минимальными энергозатратами.

Испытания, проведенные на шахте им. В. И. Ленина (г. Шахтинск, Карагандинская область), показали, что затраты мощности на вращение внутренней буровой колонны не превышали 5 кВт [4].

Современное буровое оборудование и технология бурения нуждаются в улучшении управляемости буровых установок. Всё большее число бурового оборудования сегодня переоснащается на регулируемые электроприводы переменного тока. Объяснением этому служит прогресс в современной микроэлектронике, применение которой позволяет с помощью небольших микроэлементов реализовать алгоритмы управления электродвигателя переменного тока, преимуществом которого по сравнению с двигателем постоянного тока является надёжность, масса, габариты и стоимость.

Главным назначением частотно-регулируемого электропривода является бесступенчатое регулирование частоты вращения вала асинхронного электродвигателя с целью обеспечения заданных параметрических нагрузок на исполнительные механизмы машины. Частотный привод позволяет управлять асинхронным электродвигателем, осуществлять его защиту, регулировать и оптимизировать режим работы исполнительных механизмов в зависимости от изменяющейся нагрузки. Использование регулируемого электропривода – это экономия электроэнергии и повышение срока службы всех элементов, входящих в состав машины, в отличие от электродвигателей, работающих в постоянном режиме. Правильно сделанный выбор электродвигателя, а также способ его регулирования при выполнении заданного производственно-технологического

процесса, в частности бурения, способны обеспечить рабочей машине безопасность, надёжность, а также сохранение технических показателей бурового станка в течение длительного срока эксплуатации.

Технологические возможности электропривода переменного тока позволяют расширить рабочий диапазон скорости двигателя от нулевой скорости до существенно превышающей номинальную, что в результате значительно повышает производительность используемого оборудования, и наоборот, в случае, когда требуется меньшая производительность – снижает скорость и экономит электроэнергию.

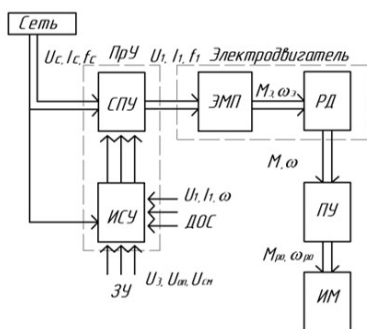


Рисунок 1 – Функциональная схема регулируемого электропривода переменного тока

На рисунке 1 представлена известная функциональная схема электропривода переменного тока [5] и приняты следующие обозначения:

ПрУ – преобразовательное устройство;

СПУ – силовое преобразовательное устройство;

ИСУ – информационная система управления;

ЭМП – электрохимический преобразователь;

РД – ротор двигателя;

ПУ – передаточное устройство;

ИМ – рабочий орган исполнительного механизма;

ЗУ – задающие устройства;

ДОС – датчики обратной связи;

U_c, f_c, I_c – напряжение, частота и ток, потребляемый электроприводом из сети;

U_1, f_1, I_1 – напряжение, частота и ток обмоток статора двигателя переменного тока;

M_s, ω_s – электромагнитный момент и скорость вращения магнитного поля, созданного обмотками статора;

M, ω – момент и скорость вращения двигателя;

M_{po}, ω_{po} – момент и скорость вращения рабочего органа исполнительного механизма;

$U_3, U_{оп}, U_{см}$ – задающие сигналы: задающее напряжение, опорное напряжение, напряжение смещения.

Известно, что при работе буровой станок подвергается действию до-

статочны больших статических и динамических нагрузок. Основным источником этих нагрузок является процесс взаимодействия долота с породой, что вызывает существенную вибрацию буровой колонны, которая передаётся на исполнительные механизмы станка и в том числе на его привод. Наиболее неблагоприятное воздействие на оборудование станка оказывают низкочастотные колебания, доля которых в общей возмущающей нагрузке максимальна. Спектр вынужденных колебаний определяется наличием гармоник возмущающей случайной нагрузки, близких к его собственным частотам, что приводит на практике к резонансным явлениям на протяженных участках буровой колонны.

Отсюда следует, что электропривод должен обладать высокими перегрузочными способностями в широком диапазоне регулирования скорости, причем система управления электроприводом должна ограничивать момент в установившихся режимах работы. Кроме того, электропривод должен обеспечивать минимальное время переходных процессов для механизмов с интенсивным повторно-кратковременным режимом работы при соответствующих ограничениях на момент, ускорение и рывок, а также иметь высокую жесткость механической характеристики, обеспечивающей демпфирование упругих механических колебаний.

Кроме этого, электропривод способен обеспечить высокие требования автоматизации обслуживаемых им механизмов и технологических линий. Нужно отметить, что в основу развития системы комплексной автоматизации входит и регулируемый электрический привод, который получает всё более широкое применение во всех сферах производства. Электропривод, который в качестве преобразовательного устройства использует преобразователь частоты, называется частотно-регулируемым приводом, основным звеном которого, помимо двигателя, является преобразователь частоты [6].

Частотный преобразователь представляет устройство, объединяющее в себе выпрямитель, и инвертор (инвёртор – устройство для преобразования постоянного тока в переменный с изменением величины напряжения. Обычно представляет собой генератор периодического напряжения, по форме приближённого к синусоиде, или дискретного сигнала. [ссылка]). Задача выпрямителя – преобразовывать переменный ток промышленной частоты в постоянный, а инвертора наоборот. Выходные тиристоры (GTO) или транзисторы (IGBT) в процессе открывания и закрывания с помощью электронного управления создают необходимое напряжение, подобное трехфазному. Изменение частоты напряжения позволяет регулировать выходную мощность при изменении нагрузки,

но не дискретно, как это происходит при механической регулировке, а уже непрерывно. Такой принцип действия позволяет частотно регулируемому приводу плавно регулировать параметры вращения двигателя и соответственно исполнительного механизма.

Частотный преобразователь — это электронное устройство для изменения частоты переменного тока, следовательно, и числа оборотов ротора асинхронной (и синхронной) электрической машины.

Электронным он называется потому, что в основе лежит схема на полупроводниковых ключах. В зависимости от функциональных особенностей и типа управления будут видоизменяться и принципиальная электрическая схема, и алгоритм работы машины.

На рисунке 2 представлена схема частотного преобразователя.

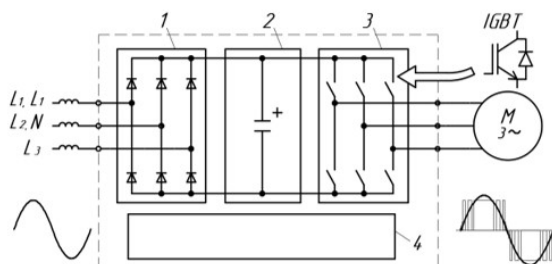


Рисунок 2 – Типовая схема трехфазного частотного преобразователя

Принцип действия преобразователя частоты состоит в следующем:

- Сетевое напряжение подаётся на выпрямитель 1 и преобразуется в выпрямленный пульсирующий ток.
- Блок 2 предназначен для сглаживания пульсации и компенсации реактивной составляющей.
- Блок 3 – группа силовых ключей, управляемых системой управления 4 методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Такая конструкция позволяет получить на выходе двухуровневое ШИМ-регулируемое напряжение, которое после сглаживания приближается к синусоидальному виду. В некоторых моделях нашла применение трёхуровневая схема, где используется больше ключей. Она позволяет добиться более близкой к синусоидальной форме сигнала. В качестве полупроводниковых ключей могут использоваться тиристоры (GTO), полевые или IGBT-транзисторы. Наиболее востребованы по надежности и эффективности последние два типа.

При помощи широтно-импульсной модуляции формируется нужный уровень напряжения, иными словами, модулируется

синусоида и линейное напряжение.

Оснащение асинхронного электродвигателя частотным преобразователем позволяет автоматизировать режим его работы, изменяя скорость вращения исполнительного органа, в зависимости от нагрузки, а также поддерживая оптимальные режимы на участках торможения, разгона, остановки и пуска.

Независимо от характера изменяющихся нагрузок на буровом инструменте частота вращения электродвигателя может оставаться постоянной (при переходных процессах это очень важно). Необходимо также отметить, что постоянную частоту вращения двигателя можно также поддерживать при использовании обратной связи от источника переменных нагрузок. Возможность отказа от дросселей, редукторов, вариаторов и другой регулирующей аппаратуры позволяет значительно упростить конструкцию бурового оборудования и существенно сэкономить на электроэнергии.

Одним из успешных производителей в области частотного регулирования электроприводов является предприятие STM, Италия [8]. Используя современную микропроцессорную базу, они разработали электронный вариатор скорости ESV, который сочетает в себе жёсткие характеристики механического вариатора с мягкостью электронного регулирования. При этом сохраняются основные преимущества механической системы – высокая надёжность. Модульная компоновка электронного преобразователя и электродвигателя позволяют существенно уменьшить габариты привода и повысить безопасность при его работе и обслуживании. Использование мощных выходных тириستоров или транзисторов в устройстве частотного регулирования позволяет сохранить постоянный крутящий момент, соответствующий номинальному значению мощности двигателя на всём диапазоне регулируемых скоростей. Надо отметить, что электродвигатель при этом защищён от перегрузок и превышения температурного режима обмоток при помощи встроенной системы безопасности. Эта система не только мгновенно отображает на дисплее критические значения заданных параметров, но и отключает её.

Установка электронного блока частотного регулирования непосредственно на двигатель исключает проблемы электромагнитной совместимости и повышает надёжность коммутационных соединений. Характеристика электродвигателя момент–скорость имеет постоянный максимальный момент в длительном режиме работы на всем диапазоне скоростей. В повторно-кратковременном режиме работы крутящий момент может достигать 200% от номинального.

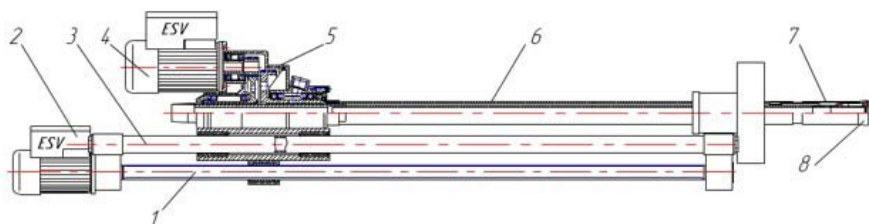
В случае превышения этого показателя мгновенно срабатывает блокировка вариатора ESV. Необходимо отметить, что, помимо постоянной скорости, вариатор может работать на постоянной мощности.

На рисунке 3 представлена новая разработка бурильной машины с электронным вариатором скорости ESV.

Бурильная машина с регулируемым электроприводом может уста-

- 1 – винт подачи, 2 – регулируемый электропривод подающего механизма,
3 – рама из трубных направляющих, 4 – регулируемый электропривод
бурильного механизма, 5 – бурильный механизм, 6 – двойная буровая колонна,
7 – головной снаряд, 8 – буровая коронка.

Рисунок 3 – Бурильная машина с регулируемым электроприводом



навливаться как на стационарный станок, так и на самоходную платформу.

Бурение осуществляется вращательным способом кольцевым инструментом двойной раздельно приводной колонной буровых труб с непрерывным выносом керна и шлама обратным потоком очистного агента.

На основании проведенного анализа по использованию регулируемого электропривода можно сделать следующие выводы:

1. Оснащение бурильных машин частотно-регулируемым электроприводом позволяет значительно уменьшить её стоимость, габаритную массу, сократить энергозатраты и повысить эксплуатационную надёжность.

2. Асинхронный электродвигатель с частотным преобразователем позволяет автоматизировать режим его работы, изменяя скорость вращения исполнительного органа, в зависимости от нагрузки, а также поддерживая оптимальные режимы на участках торможения, разгона, остановки и пуска.

Таким образом, перечисленные достоинства двойной раздельно приводной буровой колонны позволят успешно применять регулируемый электропривод при бурении глубоких дегазационных скважин

как по углю, так и по горным породам I-IV категорий буримости.

Литература

1. А.В. Анохин, Л.Т. Дворников и др. Буровой станок. А.с. 270845 СССР, Е21 В 3/00. Заявлено 10.04.87. Зарегистрировано 01.03.88.
2. А.В. Анохин, Л.Т. Дворников и др. Буровой станок RU № 19864 U1 Е21 В7/00 Зарегистрировано 10.10.2001г. 2 стр.
3. Анохин А.В. Испытания бурового комплекса КБ-76 на шахте им. Ленина в г. Шахтинске [Текст] / А.В. Анохин, Е.А. Бобровская // Т.77. –Труды Кыргызского ин-та минерального сырья: Сб. науч. тр. (КИМС). – Б.: 2000. – С. 200–206.
4. Анохин А. В. Бурение глубоких направленных скважин двойной колонной труб [Текст] / А. В. Анохин // Сб. тр. Проблемы инновационного развития нефтегазовой индустрии. – Междунар. науч. практ. конф. Алматы , 3-4 апреля, 2008. – С. 107–111.
5. Чернышев, А. Ю., Дементьев, Ю. Н., Чернышев, И. А. Электропривод переменного тока: учеб. пособие для академического бакалавриата / А. Ю. Чернышев, Ю. Н. Дементьев, И. А. Чернышев. - М.: Изд-во «Юрайт», 2018. – 215 с.
6. Частотно-регулируемый электропривод. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.vesper.ru/presscenter/articles/chastotno-reguliruemyy-elektroprivod/>. Дата обращения: 28.04.2021 г.
7. Преобразователь скорости ESV - редукторы STM. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%BE%D1%80_\(%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%BE%D1%80_(%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0)). Дата обращения: 03.09.2021 г.
8. Преобразователь скорости ESV - редукторы STM. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.reduktor-stm.ru>. Дата обращения: 03.09.2021 г.