УДК 622.234

БУРГУ КУРАЛЫН ЖЫЛДЫРЫП БЕРҮҮ ЫЛДАМДЫГЫН АВТОМАТТЫК ЖӨНДӨМДӨӨЧҮ СЫЗЫКТУУ БУРГУЛООЧУ ТЕС ҮЧҮН ЖЫШТЫКТЫ ӨЗГӨРТКҮЧТҮ ТАНДООГО ЖАНА КОЛДОНУУГА СУНУШТАР

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ТОКА ДЛЯ СТАНКА СТРОЧЕЧНОГО БУРЕНИЯ С АВТОМАТИЧЕСКИМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ СКОРОСТИ ПОДАЧИ БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА

RECOMMENDATIONS FOR THE SELECTION AND OPERATION OF A CURRENT FREQUENCY CONVERTER FOR A LINE DRILLING MACHINE WITH AUTOMATIC ADJUSTMENT OF THE FEED RATE OF DRILLING TOOLS

В. Б. Васильев
V. B.Vasiliev

Иш БС-32 сызыктуу бургулоочу машинасынын шайманды жылдырып берүү механизминде агындын жыштыгын өзгөрткүчтүн колдонуусунун актуалдуулуг келтирилген. Жылдырып берүүчү мханизминин конструкциясы кыскача каралган. Электр кыймылдаткычынын иштөө шарттамдарынын жана бүтүндөй механизмдин иштөөсүнүн эсептеринин жыйынтыктары берилген, мында бургулоочу жылгычтын кыймыл ылдамдыгынын өзгөрүү диапазондору жана электр кыймылдаткычынын айлануу ылдамдыгы аныкталган. Эң таанымал учурдагы жыштык өзгөрткүчтөрдүн талдоосунун жыйынтыктары келтирилген, алардын функционалдуулугу, баасы жана максаты боюнча салыштыруу жүргүзүлгөн, алардын артыкчылыктары менен кемчиликтери аныкталып жана салыштырылган. Аткарылган талдоонун жыйынтыгы боюнча бургулоо иштеринде колдонуу үчүн жыштык өзгөрткүчтүн муктаждык функционалдуулугу аныкталган. Ошондой эле бургулоо машиналарына колдонулуучу агын жыштыгын өзгөрткүчтөрдү тандоонун жана колдонуунун негизги сунуштары берилди.

В работе раскрывается актуальность применения преобразователя частоты тока в механизме подачи инструмента буровой машины строчечного бурения БС-32. Кратко рассмотрена конструкция механизма подачи. Приведены результаты расчёта режимов работы электродвигателя и работы механизма в целом, где определены диапазоны изменения скоростей перемещения буровой каретки и скорости вращения электродвигателя. Представлены результаты анализа наиболее популярных преобразователей частоты тока, проведено сравнение по их функциональным возможностям, стоимости и назначению, определены и проведены сравнения их достоинств и недостатков. На основе результатов проведённого анализа определены необходимые функ-

циональные возможности частотного преобразователя для применения его в буровых работах. Также представлены основные рекомендации по выбору и эксплуатации преобразователей частоты тока применительно к буровым машинам.

The work reveals the relevance of using a current frequency converter in the tool feeding mechanism of a line drilling machine BS-32. The design of the feed mechanism is briefly reviewed. The results of calculating the operating modes of the electric motor and the operation of the mechanism as a whole are given, where the ranges of variation of the speeds of movement of the drilling carriage and the speed of rotation of the electric motor are determined. The results of the analysis of the most popular current frequency converters are presented, a comparison is made in terms of their functionality, cost and purpose, their advantages and disadvantages are identified and compared. Based on the results of the analysis, the necessary functionality of the frequency converter was determined for its use in drilling operations. Also presented are the basic recommendations for the selection and operation of current frequency converters in relation to drilling machines.

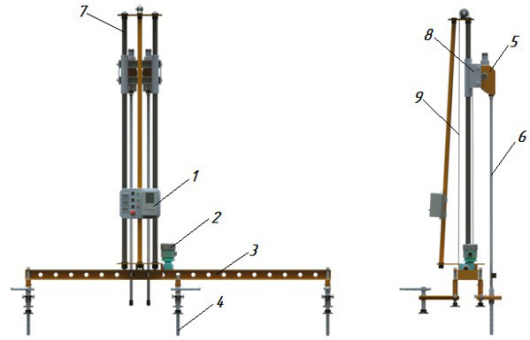
Түйүн сөздөр: *бургулоочу машина, жылдырып берщщ механизми, жыштык өзгөрткүч, айлануу ылдамдыгы, электр кыймылдаткыч, башкаруу*

Ключевые слова: *буровая машина, механизм подачи, преобразователь частоты тока, скорость вращения, электродвигатель, управление*

Keywords: *drilling machine, feed mechanism, frequency converter, rotation speed, electric motor, control*

Механизмы подачи бурового инструмента относятся к основным механизмам каждой буровой машины. В зависимости от их конструкции, типа, вида потребляемой энергии определяются большинство наиболее важных технических параметров буровых машин. При конструировании этих механизмов особое внимание уделяется таким параметрам, как величина хода подачи, усилие и скорость перемещения бурового инструмента, уровень автоматизации, вид потребляемой энергии и др.

Ранее в работе [1] были рассмотрены особенности общей конструкции станка строчечного бурения БС-32 (рисунок 1), изготавливаемый Институтом машиноведения и автоматики по совместному проекту с Ошским техническим университетом.



1 – пульт управления; 2 – двигатель подающего механизма;
3 – рама станка; 4 –анкер; 5 – перфоратор; 6 – штанга;
7 – направляющая буровой каретки

Рисунок 1 – Общий вид бурового станка строчечного бурения БС-32

Согласно техническому заданию, представленному в таблице 1, станок должен обеспечивать возможность бурения шпуров в различных породах крепостью f=6÷18. При таком диапазоне изменения крепости буримой породы очевидно, что механизм подачи бурового инструмента при бурении должен обладать возможностью изменения скорости также в большом диапазоне v= 0,5÷2 м/мин. Максимальная скорость холостого хода при подъёме буровой каретки должна составлять v= 12 м/мин. По виду потребляемой энергии станок должен быть полностью электрифицированным.

Таблица 1 – Техническое задание на проектирование бурового станка строчечного бурения

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Диаметр бурения по долоту, мм	32÷46
2	Максимальная глубина бурения, м	2÷3
3	Максимальное усилие подачи на забой, кН	5
4	Межосевое расстояние перфораторов, мм	165÷250
5	Крепость буримой породы, f	6÷18
6	Скорость бурения, м/мин	Не менее 0,5
7	Скорость подъема бурового става, м/мин	12
8	Напряжение основной питающей сети, В	220
9	Производительность компрессора, $м^3$/мин	1,0÷2,0
10	Управление станком, чел.	1
11	Габариты станка, мм	4000×2300×3000
12	Масса, кг	200

Для обеспечения всех требований, согласно техническому заданию, в отношении механизма подачи бурового инструмента были приняты следующие конструктивные решения: оснастить механизм подачи асинхронным электродвигателем 2 мощностью 1,1 кВт (рисунок 1), который через червячный редуктор с передаточным отношением 1:80 посредством цепной передачи 9 приводит в движение буровую каретку 8. Исходя из проведённых расчётов, диапазон изменения оборотов электродвигателя должен варьироваться от v_{min} = 350 до v_{max} = 3000 об/мин. Возможность плавного регулирования скорости привода механизма подачи обеспечивает преобразователь частоты тока. При этом крутящий момент электродвигателя остается постоянным.

Помимо изменения скорости электродвигателя, преобразователь частоты тока обеспечивает следующие функции: плавный пуск буровой машины, при этом снижая большой пусковой ток и момент, что исключает удары и повышенные механические нагрузки в приводе машины; снижает потребление электроэнергии на *30-50%*; защищает электродвигатель при коротком замыкании и др. Таким образом преобразователь частоты обеспечивает более длительный ресурс работы привода и удешевляет процесс бурения.

Правильный выбор частотного преобразователя имеет ключевое значение для обеспечения поставленных задач при работе механизма подачи буровой машины.

Проведённый анализ наиболее популярных моделей преобразователей частоты тока на рынке Кыргызстана выявил довольно большой объём разновидностей этих приборов, главным отличием которых является номинальная мощность, способ управления – «векторное» и «скалярное» управление, а также по количеству фаз питания преобразователя однофазные и трехфазные. Известно, что эти приборы применяются для самых различных целей в народном хозяйстве и промышленности, поэтому для каждой цели применяется определённая конкретная модель.

При управлении любой модели преобразователя частоты тока диапазон регулирования частоты тока довольно широкий и составляет *от 1 до 400 Гц*. Причём при наличии такой возможности существуют определенные ограничения по скорости. Например, снижение частоты входящего тока электродвигателя ниже *30 Гц* не рекомендуется из-за риска его перегрева. В случае если возникает необходимость в снижении частоты менее *30 Гц*, то на электродвигатель необходимо устанавливать дополнительное принудительное охлаждение. Повышение скорости электродвигателя выше *70 Гц* также не рекомендуется по причине уменьшения жёсткости его выходной характеристики, т.е. при увеличении скорости

крутящий момент уменьшается, здесь важно учесть, что при увеличении частоты выше номинальной момент *(M)* уменьшается пропорционально квадрату отношения напряжение/частота. При частоте *f = 70 Гц* момент на валу уменьшается в 2 раза $M = 0{,}5 \times M_{ном}$; при частоте *f* = 100 Гц момент уменьшается в 4 раза $M = 0{,}25 \times M_{ном}$. Следовательно, увеличивается риск перегрузки двигателя. Второй причиной ограничения по скорости в большую сторону является ограничение скорости вращения подшипниковых опор роторного вала электродвигателя.

На рисунке 2 показан общий вид преобразователя частоты тока, выпускаемый фирмой TOSHIBA. Такие преобразователи предназначены для управления электродвигателями, работающими в вентиляционных системах, насосных и компрессорных установках. В их программную базу возможностей входит только основной набор функций по изменению скорости электродвигателя, поэтому структура автоматической системы, составленная на базе этих преобразователей, получится сложной.

Необходимо отметить, что фирма TOSHIBA выпускает линейку преобразователей частоты тока, которые отличаются по мощности электродвигателя и работают от трёхфазной цепи. В случае трехфазного питания при увеличении частоты тока жёсткость выходной характеристики электродвигателя изменяться будет значительно меньше, чем при однофазном питании.

К достоинствам этих преобразователей частоты можно отнести меньшую их стоимость из-за уменьшенного программного обеспечения.

Рисунок 2 – Общий вид преобразователя частоты тока фирмы TOSHIBA

Несколько большим программным обеспечением обладают преобразователи фирмы ENC (рисунок 3). Также необходимо отметить, что у этих преобразователей частоты гораздо больший диапазон области применения. Они могут применяться также в компрессорных установках, насосных станциях, в системах вытяжки и на конвейерных линиях. Эти

преобразователи частоты обладают дополнительным каналом обратной связи, к которому можно подключать различные информационные устройства – датчики. Благодаря чему на базе этих преобразователей можно строить простейшие автоматические системы для управления электродвигателями большой мощности.

Рисунок 3 – Общий вид преобразователя фирмы ENC

Одна из самых полезных функций, необходимая для потребления в бытовых условиях, – это функция преобразования одной фазы в три. А именно входное питание преобразователя мощностью *до 2,2 кВт* включительно может осуществляться одной фазой напряжением *220 В*, т.е. от обычной сети, а выходное напряжение состоит из трёх фаз в *380 В*. Это значительно повышает КПД электромотора, особенно при повышенных скоростях вращения – до *400 Гц*. В преобразователях свыше *2,2 кВт* такой функции нет, они изначально питаются от трёхфазной сети напряжением в *380 В*.

Для горной промышленности, в частности в буровых машинах, наиболее подходящими являются преобразователи, выпускаемые фирмой DELTA (рисунок 4). Они обладают максимальным набором программного функционала и имеют все возможности, которые перечислены выше. Благодаря чему стоимость таких преобразователей значительно выше.

У этих преобразователей в программный пакет входит такая функция, как управление скоростью вращения электродвигателя по обратной связи, которая заключается в силе потребляемого электродвигателем тока, а также имеется отдельный канал для подключения информационных устройств. Здесь необходимо отметить, что применение информационных устройств на буровых машинах значительно снижает их надёжность, этому способствуют неблагоприятные условия внешней среды при бурении, что отрицательно сказывается на работу электроники. К неблагоприятным условиям внешней среды относятся повышенная влажность, запылённость и др. Процесс бурения, особенно враща-

Рисунок 4 – Общий вид преобразователя частоты тока фирмы DELTA VFD-V

тельноударный, сопровождается сильной вибрацией, что отрицательно сказывается для электронных устройств. Поэтому при со-ставлении структуры автоматических систем для буровых машин необходимо по возможности сокращать в них количество электронных средств автоматизации. Кроме того, составление автоматической системы с обратной связью по силе тока значительно упрощает её структуру, повышает надёжность работы всей системы и снижает её себестоимость.

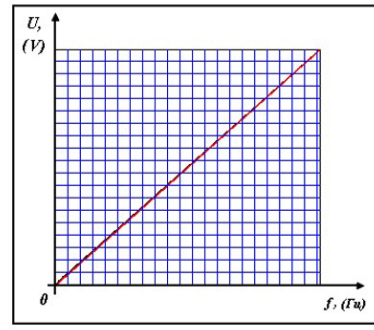


Рисунок 5 – Зависимость величины напряжения питания
от частоты тока

На рисунке 5 показана выходная характеристика преобразователя частоты тока DELTA – зависимость изменения выходного напряжения от изменения частоты тока, так называемое «векторное» управление [2]. При «векторном» управлении крутящий момент электродвигателя при изменении его скорости меняется значительно меньше, чем при «скалярном».

Из рисунка 5 видно, что изменение выходного напряжения прямо пропорционально изменению частоты тока, что делает выходную характеристику электродвигателя при управлении преобразователем максимально жёсткой.

С общими рекомендациями по применению преобразователей частоты тока можно ознакомиться на официальных сайтах завода-изготовителя этих устройств. Ниже приведены основные рекомендации по выбору и использо ванию преобразователя применимо к буровым работам.

1. Мощность преобразователя частоты тока необходимо принимать равной потребляемой мощности электродвигателя либо в случае высоких пусковых моментов на 10-20% выше мощности электродвигателя.

2. На буровых машинах ударно-вращательного действия блок управления электродвигателем необходимо устанавливать вне буровой машины либо на ней, но с креплением, основанным на вибропоглощающих опорах.

3. Преобразователь частоты тока должен монтироваться в герметичном ящике с циркуляционными каналами для охлаждения.

4. Преобразователи частоты тока для процесса бурения необходимо принимать с «векторным» управлением и с функцией измерения силы тока электродвигателя.

5. Для буровых машин шахтного применения преобразователи частоты тока должны быть установлены во взрывозащищённом корпусе.

Выводы:

- в работе обозначена необходимость и актуальность применения преобразователя частоты тока в механизме подачи станка строчечного бурения шпуров БС-32;
- проведён анализ имеющихся на рынке Кыргызстана преобразователей частоты тока;
- приведены рекомендации по выбору и применению преобразователей частоты тока, применяемых в буровых станках;
- определена наиболее подходящая модель преобразователя частоты для электрифицированных буровых станков.

Литература

1. Анохин А.В. Разработка станка строчечного бурения БС-32 для добычи блоков природного камня [Текст] / А.В. Анохин, В. Б. Васильев, Н. Н. Фадеева // Машиноведение – Бишкек, 2020. № 2(12).

2. Васильев В.Б. Разработка автоматической системы регулирования режимами работы станка при обработке отверстий: [Текст] / Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 с автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям). – Бишкек, 2011.