

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МЕХАНИЗМА ПОДАЧИ БУРОВОГО СТАНКА

Шигин А.О., Чикуров И.А., Овчинников И.Л.  
научный руководитель д-р техн. наук Гилев А.В.  
*Сибирский федеральный университет*

В настоящее время в горной промышленности применяются буровые станки с различными типами вращательно-подающих механизмов. Их особенности характеризуются величиной усилия подачи, частотой вращения бурового става и др. Но при бурении сложноструктурных массивов горных пород, имеющих колебание физико-механических свойств по глубине, часто возникают значительные ударные нагрузки и вибрация, результатом которых является увеличение циклических напряжений во всем буровом органе. При этом 80 % случаев отказов приходится на разрушение опор качения шарошек буровых долот [1]. Часто из анализа наработок на отказ шарошечных долот следует вывод о значительном снижении их стойкости (до 2-х раз) в случае бурения породы со сложной структурой.

В конструкции современных шарошечных долот, имеющих опоры качения часто применяются подшипники по схеме ролик-шарик-ролик. Предел прочности сталей тел качения составляет 1900 – 2300 МПа и выше. Для получения высших показателей необходимо осуществлять термическую обработку с большой точностью в температурах и времени выдержки [2]. Расчеты показывают, что напряжение в телах качения при равномерном нагружении 1400 – 1650 МПа. Но при значительных колебаниях физико-механических свойств породы доходит до 2250 МПа и выше.

Для приближения ресурса шарошечных долот к максимально возможному, имеющему место при бурении однородной породы, необходимо применение адаптивного вращательно-подающего механизма [3, 4]. Он позволит использовать узкий промежуток между уровнем напряжения в телах качения и предельными прочностными показателями материала.

Отечественные станки шарошечного бурения имеют в системе подачи нерегулируемые гидроприводы [5]. И при изменении свойств горной породы исключить внезапную ударную нагрузку практически невозможно. На изменение свойств породы уже позже реагирует машинист. Но в течение указанного переходного процесса буровой инструмент испытывает сложнейшие по характеру и величине нагрузки. Вследствие чего стойкость буровых долот значительно снижается.

Для решения данной проблемы разработан экспериментальный лабораторный стенд «Электромагнитный механизм подачи бурового станка». Основным элементом является линейный трехфазный асинхронный электрический двигатель с массивным ротором. Он имеет в своей основе статорную обмотку, подключаемую к сети трехфазного переменного тока, напряжением 380 В. В качестве ротора используется стандартная труба, состоящая из стали, обладающей ферромагнитными свойствами.

Схема экспериментальной установки с трехфазным асинхронным линейным двигателем представлена на рисунке 1.

Стенд состоит из стальной рамы 1 с роликовыми опорами 2, в которых подвижно закреплен массивный ротор 3 в виде стальной магнитной трубы. Статор 4 в виде цилиндрических обмоток расположен вокруг массивного ротора 3 с возможностью продольного перемещения последнего внутри статора. Катушки статора могут подключаться попеременно, как показано на рисунке по одной или несколько штук, на каждую фазу. Таким образом, стенд позволяет проанализировать режимы работы двигателя.

Для этого он оснащен динамометром для измерения усилия подачи, а также приборами для измерения тока и напряжения в определенных фазах. Двигатель стенда не имеет магнитопровода для получения характеристик, зависящих от минимального числа факторов. Двигатель подключается к сети переменного трехфазного напряжения 380 В.

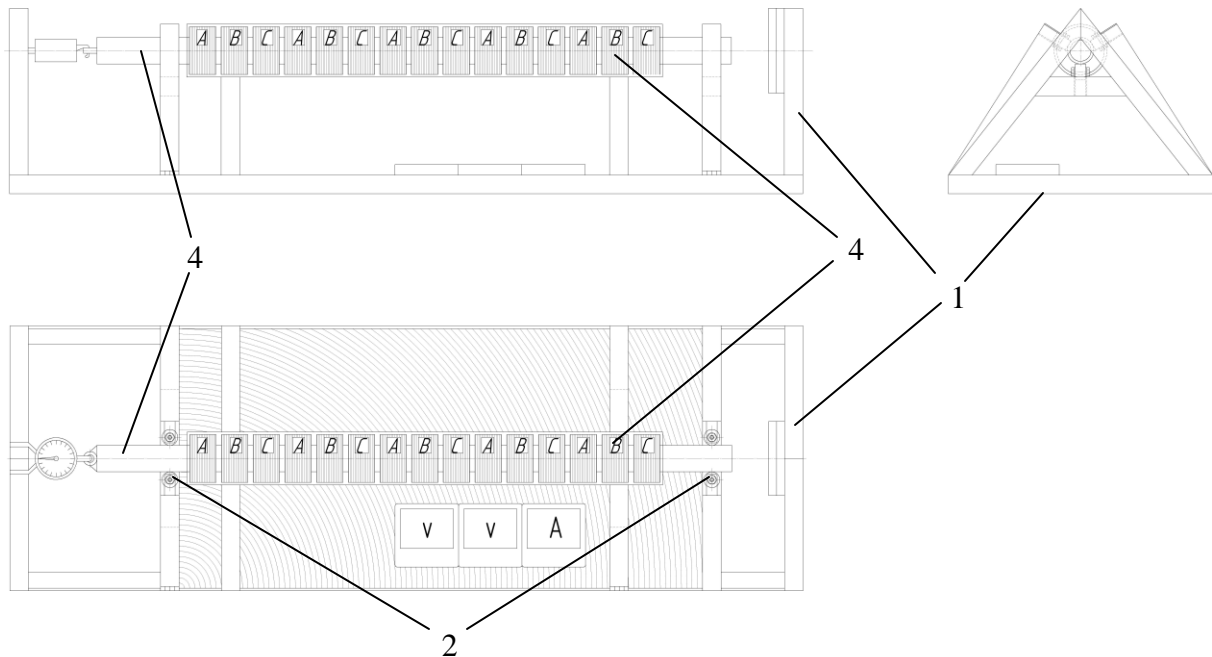


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки с трехфазным асинхронным линейным двигателем

Все двигатели трехфазного тока создают нагрузку, близкую к симметричной, и поэтому двигатели трехфазного тока включаются в сеть по трехпроводной схеме, т.е. без нейтрального провода [6]. Существует две трехпроводные схемы соединения приемников: -  $Y$  (звездой без нейтрального провода); -  $\Delta$  (треугольником). При соединении приемника звездой напряжение на одной фазе отличается от напряжения в линии на  $\sqrt{3}$  по формуле –  $U_{\phi} = U_{л} / \sqrt{3}$ , а токи в линиях и в фазах равны –  $I_{л} = I_{\phi}$ . При соединении приемника треугольником  $U_{\phi} = U_{л}$ , а токи отличаются на  $\sqrt{3}$  по формуле  $I_{л} = \sqrt{3} I_{\phi}$ . Выбирается схема подключения  $Y$  (звезда без нейтрального провода), что позволит упростить измерения токов  $I_{л} = I_{\phi} = I$ , при симметричной нагрузке токи на каждой фазе так же будут одинаковы. Поэтому будет достаточно замерить ток только на одной фазе.

Двигатель подключается к трехфазной сети с линейным напряжением  $U_{л} = 380 В$  через магнитный пускатель (для дистанционного управления двигателем) с тепловым реле (для защиты от критических токов).

Катушки статора соединяются группами и образуют обмотки отдельных фаз двигателя. Внутри статора помещается вторичный элемент трубчатой формы, выполненный из стали 45, обладающей свойствами ферромагнетика. При подключении к сети обмоток статора вдоль его внутренней поверхности образуется бегущее магнитное поле, которое индуцирует на внешней поверхности вторичного элемента токи, направленные по его окружности. Взаимодействие этих токов с магнитным полем двигателя создает на вторичном элементе силу, действующую вдоль трубы, которая и вызывает поступательное движение вторичного элемента относительно статора в продольном направлении.

Для измерения силы тока, к одной из фаз подключается амперметр. В связи с тем,

что при подключении амперметра возникает не симметричная нагрузка, целесообразно применить токовые клещи или трансформатор тока. Для измерения создаваемого линейным двигателем усилия применяется динамометр.

С помощью разработанного и изготовленного исследовательского стенда можно получить следующие характеристики: 1. Зависимость усилия подачи  $P$  линейного двигателя от скорости движения  $v$  бурового става  $P=f(v)$ ; 2. Зависимость усилия подачи  $P$  линейного двигателя от частоты  $f$  напряжения источника электроэнергии  $P=f(f)$ ; 3. Зависимость усилия подачи  $P$  линейного двигателя от величины напряжения  $U$  источника электроэнергии  $P=f(U)$ . Получение характеристик при изменении значений одной из величин  $v$ ,  $f$  или  $U$ , остальные две остаются неизменными в заданном значении. Например при получении характеристики  $P=f(v)$ , скорость движения вторичного элемента устанавливается в различных заданных значениях для каждого отдельного эксперимента при помощи регулируемого пневмоцилиндра, создающего осевую нагрузку, обратную ходу вторичного элемента. При этом частота  $f$  и величина напряжения  $U$  источника электроэнергии остаются в заданном значении.

Методика получения характеристики  $P=f(v)$ :

1. Собирается электрическая цепь. Схема подключения Y (звезда без нейтрального провода);
2. Устанавливается величина напряжения  $U$  источника электроэнергии при помощи трехфазного трансформатора для построения одной кривой;
3. Устанавливается величина частоты  $f$  напряжения источника электроэнергии при помощи преобразователя частоты для построения одной кривой;
4. Задается сечение выходного отверстия регулируемого пневмоцилиндра для данного замера;
5. Включается источник электроэнергии и фиксируется осевое усилие на динамометре, время хода вторичного элемента и величина пускового и номинального тока;
6. Меняется сечение выходного отверстия регулируемого пневмоцилиндра для следующего замера и фиксируется осевое усилие на динамометре, время хода вторичного элемента и величина пускового и номинального тока.
7. Эксперимент повторяется не менее пяти раз для получения характеристики достаточной точности. При необходимости получения нескольких кривых, необходимо ступенчато изменять установленные значения  $f$  и  $U$ .

Методика получения характеристики  $P=f(f)$ :

1. Собирается электрическая цепь. Схема подключения Y (звезда без нейтрального провода);
2. Устанавливается величина напряжения  $U$  источника электроэнергии при помощи трехфазного трансформатора для построения одной кривой;
3. Задается сечение выходного отверстия регулируемого пневмоцилиндра для построения одной кривой;
4. Устанавливается величина частоты  $f$  напряжения источника электроэнергии при помощи преобразователя частоты для данного замера;
5. Включается источник электроэнергии и фиксируется осевое усилие на динамометре, время хода вторичного элемента и величина пускового и номинального тока;
6. Меняется частота  $f$  напряжения источника электроэнергии для следующего замера и фиксируется осевое усилие на динамометре, время хода вторичного элемента и величина пускового и номинального тока.

7. Эксперимент повторяется не менее пяти раз для получения характеристики достаточной точности. При необходимости получения нескольких кривых, необходимо ступенчато изменять установленные значения  $\nu$  и  $U$ .

Методика получения характеристики  $P=f(U)$ :

1. Собирается электрическая цепь. Схема подключения Y (звезда без нейтрального провода);
2. Задается сечение выходного отверстия регулируемого пневмоцилиндра для построения одной кривой;
3. Устанавливается величина частоты  $f$  напряжения источника электроэнергии при помощи преобразователя частоты для построения одной кривой;
4. Устанавливается величина напряжения  $U$  источника электроэнергии при помощи трехфазного трансформатора для данного замера;
5. Включается источник электроэнергии и фиксируется осевое усилие на динамометре, время хода вторичного элемента и величина пускового и номинального тока;
6. Меняется напряжение  $U$  источника электроэнергии для следующего замера и фиксируется осевое усилие на динамометре, время хода вторичного элемента и величина пускового и номинального тока.
7. Эксперимент повторяется не менее пяти раз для получения характеристики достаточной точности. При необходимости получения нескольких кривых, необходимо ступенчато изменять установленные значения  $f$  и  $\nu$ .

Выводы:

1. Разработанные методики исследования характеристик трехфазного асинхронного линейного двигателя позволят с достаточной точностью и информативностью построить зависимости  $P=f(\nu)$ ,  $P=f(f)$  и  $P=f(U)$ , необходимые для проектирования и изготовления электрической машины с заданными параметрами;
2. Полученные характеристики трехфазного асинхронного линейного двигателя позволят изготовить адаптивную систему подачи бурового станка, позволяющую своевременно реагировать на возникновение ударных нагрузок при бурении сложноструктурных горных массивов.

Библиографический список:

1. Техника, технология и опыт бурения скважин на карьерах. Под ред. В.А. Перетолчина. – М.: Недра, 1993. – 286 с.
2. Специальные стали. Учебник для вузов. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г., М.: Металлургия, 1985. 408 с.
3. Гилев А.В., Шигин А.О. и др. Адаптивная система подачи рабочих органов буровых станков // Фундаментальные исследования, № 11, 2010. - 4 с.;
4. Шигин А.О. Основные принципы адаптивной системы подачи рабочих органов буровых станков // Вестник машиностроения, № 5, 2011. – 3 с.;
5. Теоретические основы электротехники / Л.А. Бессонов. – М.: Высш шк. 1996. – 638 с.
6. Электрические машины: Машины переменного тока / А.И. Вольдек, Д.А. Попов. – СПб.: Высш. шк.; Питер, 2007. – 350 с., ил.