

РАСЧЕТ И ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МЕХАНИЗМА ПОДАЧИ РАБОЧЕГО ОРГАНА БУРОВОГО СТАНКА

**Татарков Д.А.,
Сибирский федеральный университет
Институт горного дела, геологии и геотехнологий**

При бурении сложноструктурных массивов горных пород с колебанием их физико-механических свойств возникают ударные нагрузки и вибрация, результатом которых является увеличение циклических напряжений во всем буровом органе. Оценка напряженного состояния опор шарошечных долот показывает их низкий расчетный ресурс. Для приближения ресурса шарошечных долот к максимально возможному, имеющему место при бурении однородной породы, разработаны адаптивный вращательно-подающий механизм и лабораторный стенд для исследования его механических характеристик при различных режимах работы. Произведен анализ общего вида механических характеристик и расчет ориентировочной потребляемой мощности двигателя. Сделаны выводы об эффективности применения линейного трехфазного асинхронного двигателя с массивным ротором в качестве привода подачи при бурении сложноструктурных горных массивов.

В горной промышленности применяются буровые станки с различными типами вращательно-подающих механизмов, которые характеризуются величиной усилия подачи, частотой вращения бурового става и др. При бурении сложноструктурных массивов горных пород с колебанием их физико-механических свойств по глубине часто возникают большие 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]. Из анализа наработок на отказ шарошечных долот следует вывод о значительном снижении их стойкости (вдвое) при бурении породы со сложной структурой.

В конструкции современных шарошечных долот, имеющих опоры качения, часто применяются подшипники по схеме ролик–шарик–ролик. Предел прочности стали для тел качения составляет 1900...2300 МПа и более. Для получения еще более высоких показателей необходимо осуществлять термическую обработку с большей точностью в температурах и по времени выдержки. Расчеты показывают, что напряжение в телах качения при равномерном нагружении составляет 1400...1650 МПа, а при значительных колебаниях физико-механических свойств породы напряжение 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. Он позволит использовать узкий промежуток между уровнем напряжения в телах качения и предельными прочностными показателями материала.

Отечественные станки шарошечного бурения имеют в системе подачи рабочего органа нерегулируемые гидроприводы. При изменении свойств горной породы исключить внезапную ударную нагрузку практически невозможно (на изменение свойств породы уже позже реагирует машинист). В течение указанного переходного процесса буровой инструмент испытывает сложнейшие по характеру и величине нагрузки, вследствие чего стойкость буровых долот значительно сни-

жается. Для решения данной проблемы возможно применение линейного электромагнитного привода механизма подачи рабочего органа. Авторами разработан экспериментальный лабораторный стенд «Электромагнитный механизм подачи бурового станка». Основным его 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 из стали, обладающей ферромагнитными свойствами.

Рис. 1. Схема экспериментальной установки с трехфазным асинхронным линейным двигателем

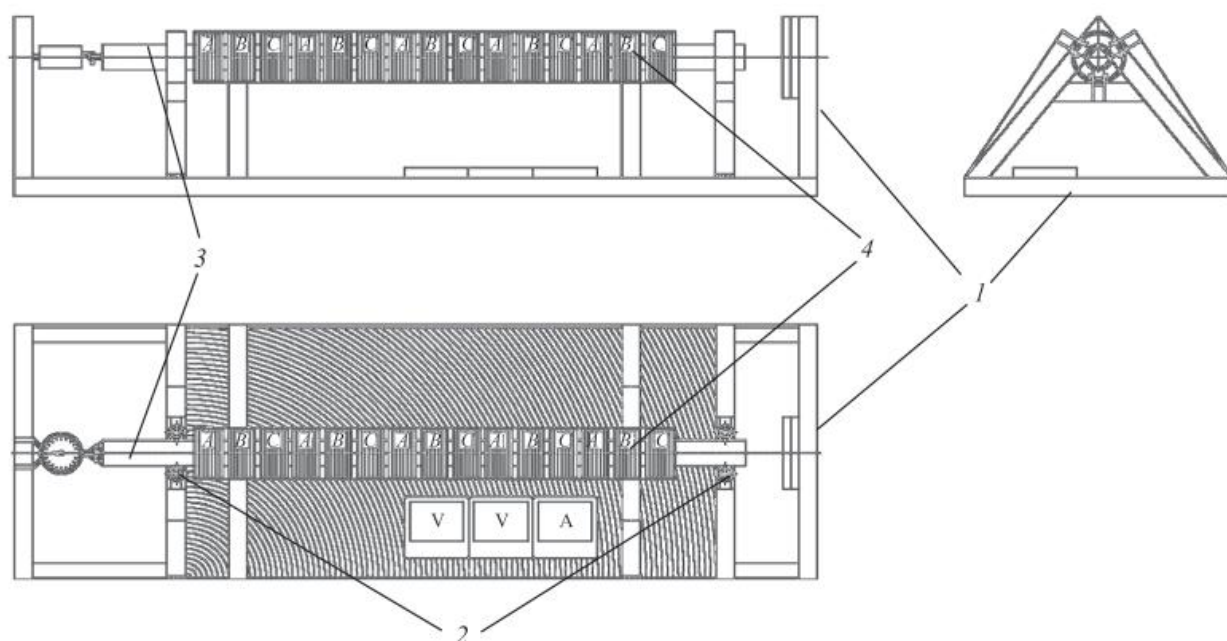


Схема экспериментальной установки с трехфазным асинхронным линейным двигателем представлена на рис. 1. Стенд состоит из стальной рамы 1 с роликовыми опорами 2, в которых подвижно закреплен массивный ротор 3 – стальная магнитная труба. Статор 4 в виде цилиндрических обмоток расположен вокруг массивного ротора 3 с возможностью продольного перемещения последнего внутри статора. Катушки статора могут подключаться по-разному, как показано на рис. 1, 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.

В результате начальных испытаний выяснено, что при потребляемой мощности 6,35 кВт и нулевой скорости двигатель без ферромагнитного магнитопровода развивал усилие с учетом погрешности приборов 80...90 Н. Без нагрузки двигатель развивал линейную скорость 0,31 м/с. Наличие ферромагнитного магнитопровода, с учетом его магнитного насыщения, увеличивает эффективность электрического двигателя в несколько десятков раз.

Механическая характеристика асинхронного двигателя вращательного действия представлена на рис. 2.

Асинхронная машина линейного действия имеет подобную механическую характеристику. Отличие заключается в наличии краевых эффектов. Однако при условии применения в качестве массивного ротора трубы достаточно большой длины краевой эффект оказывает меньшее влияние на механическую характе-

ристику двигателя. Активное и индуктивное сопротивления массивного ротора ввиду сильно выраженного поверхностного эффекта значительно зависят от скольжения. Так, в случае $f_1 = 50$ Гц при пуске ($S = 1$) эквивалентная глубина проникновения токов в роторе составляет только 3 мм, при $S = 0,02$ – около 20 мм, при $S = 0,001$ – около 100 мм. Поэтому при пуске сопротивление r_2 весьма велико и $X_{\sigma 2}$ мало, а с уменьшением скольжения сопротивление r_2 уменьшается, а $X_{\sigma 2}$ увеличивается.

В результате сильного проявления поверхностного эффекта пусковой момент M_p двигателя с массивным ротором достаточно велик по отношению к номинальному моменту M_n : $M_p/M_n = 1,5 \dots 2,0$. Однако двигатели малой мощности с массивными роторами при $f_1 = 50$ Гц имеют низкие КПД и коэффициент мощности, но с увеличением мощности растут и КПД.

Массивный ротор имеет большое преимущество в прочности. В связи с этим асинхронные двигатели вполне могут применяться в качестве привода подачи рабочего органа бурового станка.

Поскольку двигатель в лабораторном стенде не имеет ферромагнитного магнитопровода, необходимо рассчитать номинальное подающее усилие в случае наличия магнитопровода, изготовленного из электротехнической стали. А затем найти мощность двигателя, способного создавать подающее усилие до 200 или 300 кН в зависимости от модели бурового станка. Для этого необходимо рассчитать магнитное сопротивление цепи в случае с магнитопроводом и без него.

Таким образом, трехфазный асинхронный двигатель с массивным ротором, имеющий аналогичные размеры, оснащенный магнитопроводом, будет развивать усилие в пределах 7766...8736,5 Н. Среднее значение усилия $P_1 = 8251$ Н при потребляемой мощности 6,35 кВт.

Для получения усилия подачи 200 кН данный привод должен будет иметь ориентировочную мощность с учетом магнитных и электрических потерь 154 кВт. Потребляемая мощность может быть уменьшена: увеличением площади поперечного сечения и магнитной проницаемости магнитопровода; уменьшением магнитного сопротивления в воздушном зазоре; нанесением металлического слоя с высокой электрической проводимостью на поверхность массивного ротора; созданием пазов в теле массивного ротора.

При этом основной задачей создания электромагнитного привода подачи бурового органа является своевременное реагирование на изменение свойств горной породы. Электромагнитный привод будет реагировать на увеличение или уменьшение показателя буримости соответственным изменением величины тока в обмотке статора, т. е. точка рабочего режима двигателя будет перемещаться по механической характеристике. Продолжительность такой адаптивной реакции будет характеризоваться периодом переходных электромагнитных процессов, что равняется десятым долям секунды. Изменение тока в обмотке двигателя должно быть учтено при проектировании электрической машины.

Кроме того, данный механизм подачи рабочего органа позволяет легко автоматизировать процесс в случае длительных перегрузок. Изменение тока будет фиксироваться напрямую с обмотки двигателя. В автоматическом режиме, согласно заложенной в контроллере функции, режим бурения будет изменен. Соответственно должны быть изменены усилие и скорость подачи, а также момент на валу вращательного механизма и скорость вращения бурового става. Регулировка режимов возможна тремя способами: при помощи преобразователя частоты; понижением напряжения – для экстренного снижения величины ударных нагрузок; комплексное использование обоих способов для получения оптимальных режимов. Таким образом, применение адаптивного механизма подачи на основе линей-

ного трехфазного асинхронного двигателя с массивным ротором возможно на базе существующих буровых станков, запитанных от трехфазной электрической сети. Линейный трехфазный асинхронный двигатель с массивным ротором способен обеспечить требуемое усилие подачи с приемлемым значением потребляемой мощности. Адаптивный привод подачи способен своевременно реагировать на резкие изменения свойств горных пород перемещением точки рабочего режима по механической характеристике асинхронной машины при соответственном изменении величины тока в обмотке двигателя.

Применение в качестве системы подачи линейного электромагнитного двигателя позволяет получать информацию об изменениях физико-механических свойств породы при измерении величины тока в обмотке двигателя.

В случае длительных перегрузок в автоматическом режиме, согласно заложенной в контроллере функции, режим бурения может быть изменен.