

**А.О. Шигин**

## **СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШАРОШЕЧНОГО БУРЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН НА КАРЬЕРАХ**

Представлены варианты решения проблемы снижения стойкости долот при частых изменениях свойств породы. Произведен сравнительный анализ показанных решений и показана целесообразность применения адаптивного вращательно-подающего механизма, который позволит использовать малый промежуток между уровнем напряжения в телах качения и предельными прочностными показателями материала. Приведен анализ станков шарошечного бурения по возможности адаптивного реагирования его систем на изменения свойств породы. Показаны положительное влияние на стойкость шарошечных долот наличие в системе подачи станка канатно-полиспастной системы и основные функции ключевых элементов адаптивной системы вращательно-подающего механизма бурового станка. Для создания адаптивного двигателя для привода подачи рабочего органа бурового станка разработан экспериментальный лабораторный образец электромагнитного механизма подачи бурового станка. В результате лабораторных исследований получены механические характеристики линейной асинхронной машины с массивным ротором. Разработана методика проектирования двигателя с необходимыми характеристиками. Общей особенностью различных конструкций адаптивного вращательно-подающего механизма является своевременное изменение режима работы двигателя подачи. В процессе бурения адаптивный электромагнитный привод без значительной задержки реагирует на увеличение или уменьшение показателя буримости соответственным изменением величины тока в обмотке статора. Ключевые слова: горный массив, сложная структура, шарошечное долото, адаптивный механизм.

**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, характеризующихся колебанием 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. Проблема снижения стойкости долот при частых изменениях свойств породы имеет следующие решения: 1. Увеличение прочности и надежности путем усовершенствования конструкции долота и применения материалов с более высокими прочностными характеристиками; 2. Введение в структуру бурового става элемента, компенсирующего ударные нагрузки; 3. Применение адаптивного вращательно-подающего механизма, способного своевременно определять различные изменения свойств породы и реагировать, корректируя режим бурения.

1. 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 [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. В данных условиях коэффициент запаса прочности 1,04. В случае отсутствия дефектов в телах качения справедливы законы усталостного разрушения. Но в связи с тем, что отечественное производство шарошечных долот является автоматическим, довольно велика вероятность попадания в партию тел качения с дефектами и отклонениями по механическим свойствам. Как правило, такие тела качения первыми выходят из строя. Поскольку высокопрочные стали являются малопластичными, то решение проблемы снижения стойкости долот потребует коэффициента запаса прочности 1,7–2,3 [3]. В зависимости от необходимой скорости бурения, минимальная предельная прочность тел качения при равномерном нагружении должна находиться в пределах 2380–2805 МПа. Минимальная предельная прочность при среднем уровне колебания физико-механических свойств – в пределах 2900–3400 МПа. Минимальная предельная прочность при высоком уровне колебания физико-механических свойств – в пределах 3230–3800 МПа. Указанные пределы прочности необходимы в случае сохранения без изменений применяемых конструкций шарошечных долот и создания

надежной работы в соответствующих условиях буровых работ. Значительно снизить данные показатели можно увеличением размеров тел качения при условии увеличения посадочных мест и сохранением прежних размеров долота. В связи с небольшим относительным количеством разрушений тел шарошек, данный способ возможен но потребует изменений в сложившейся отрасли производства бурового инструмента.

2. Введение в структуру бурового става элемента, компенсирующего ударные нагрузки. Возможно применение как надежных, так и предварительно ослабленных элементов, сохраняющих целостность бурового инструмента при критических нагрузках.

3. Применение адаптивного вращательно-подающего механизма [5] позволит использовать малый промежуток между уровнем напряжения в телах качения и предельными прочностными показателями материала.

Существующие вращательно-подающие механизмы в большинстве своем не имеют специальной системы, адаптивно реагирующей на изменения свойств породы. Полностью отсутствуют такие свойства у механизмов с гидравлической системой подачи. Станки группы СБШ-200 имеют роторно-патронную схему ВПМ с нижним стационарным расположением вращателя, передачей осевого усилия и крутящего момента на образующую бурильной штанги через зажимной патрон.

Усилие подачи создается двумя гидроцилиндрами, питающимися от одного или двух насосов нерегулируемой производительности с предохранительным клапаном. К преимуществам такой схемы относятся: стационарность привода вращателя, возможность значительного облегчения мачты, большая устойчивость станка при передвижении. К недостаткам — ограниченность величины осевой нагрузки и крутящего момента из-за проскальзываемых кулачков патрона (особенно в зимних условиях); большие затраты времени на вспомогательные машинные операции; невозможность применения штанг различных диаметров и тем более шнековых штанг.

Вращательно-подающие механизмы, оснащенные канатно-полиспастной системой способны в некоторой степени компенсировать ударные нагрузки за счет упругости каната. Станки группы СБШ-250 имеют схему передачи осевого усилия и крутящего момента на торец штанги от шпинделя (с гидромуфтой) редуктором вращателя, который перемещается вдоль мачты канатным полиспастом. Усилие подачи создается от двух гидроцилиндров.

Применяемые на станках типоразмеров СБШ-200 и СБШ-250 гидроприводы подачи, состоящие из маслососа нерегулируемой производительности с предохранительным клапаном и гидроцилиндров с дросселем на сливе, имеют жесткие (неэластичные) характеристики, что необходимо учитывать при разработке и оценке режимов бурения сложно-структурных пород.

Более благоприятны системы подачи с тяговой лебедкой, как это имеет место на станках СБШ-250/270 (РД-10) и СБШ-320. Стойкость буровых долот при системе подачи с тяговой лебедкой оказывается более высокой.

В станке СБШ-320 усилие подачи создается лебедками и передается на опорный узел через канат, огибающий последовательно несколько раз приводные барабаны лебедки. В период бурения усилие подачи создается гидромотором. Тяговое усилие в канатах возникает за счет их трения о барабаны. При спуско-подъемных операциях лебедка работает от электродвигателя. Принятая система подачи имеет большую эластичность, чем у станков СБШ-200 и СБШ-250.

Существующие системы подачи рабочих органов буровых станков часто не имеют возможности быстро и своевременно реагировать на изменение свойств горной породы и корректировать режим бурения. Это связано с применением в системе подачи нерегулируемых гидроцилиндров и канатных систем. Поэтому бурение сложноструктурных массивов сопровождается толчками и ударами. Основная ударная нагрузка приходится на рабочий орган и непосредственно на буровой инструмент. Характер разрушений отработавших шарошек указывает на их причины. Компенсировать ударные нагрузки, возникающие по границе изменения крепости пород, можно с помощью адаптивной системы подачи. Ключевым в адаптивной системе является наличие одного или нескольких элементов, способных, во-первых, принимать на себя динамическую нагрузку, смягчая реакцию опоры со стороны горного массива с изменяющейся крепостью, во-вторых, быстро и своевременно корректировать подачу, используя обратные связи для силовых органов.

Для обеспечения требуемых характеристик бурового станка необходимы специальный линейный электромагнитный двигатель и созданная на его основе система подачи рабочего органа шарошечного бурового станка. Для исследования и разработки адаптивной системы подачи необходим двигатель, отвечающий следующим требованиям:

1. должен обеспечивать показатели, обусловленные технологией бурения;
2. динамические нагрузки должны восприниматься мягкой адаптивной связью;
3. должен воспринимать сигналы обратной связи за промежуток времени, сопоставимый со временем возникновения ударной нагрузки;
4. должен обеспечивать улучшение качественных и (или) количественных показателей процесса.

Электромагнитная связь обеспечивает требуемые технологические параметры, мягко воспринимает и выдерживает жесткие ударные и резонансные нагрузки широкого спектра. Кроме того, в магнитно-индукционных машинах плотность потока энергии практически на порядок выше плотности потоков энергии в прочих машинах. При этом могут изменяться мгновенные характеристики напряжения, тока и мощности. Данные изменения должны закладываться при выборе источника электроэнергии и элементов электрической схемы. Особенность электромагнитных устройств заключается, с одной стороны, в возможности реагировать на ударные нагрузки вследствие естественного изменения характеристик электрической машины при ударе, с другой стороны, в возможности автоматического регулирования характеристик двигателя, в частности с использованием сигналов обратной связи при ударе.

Для создания адаптивного двигателя для привода подачи рабочего органа бурового станка, разработан эксперименталь-

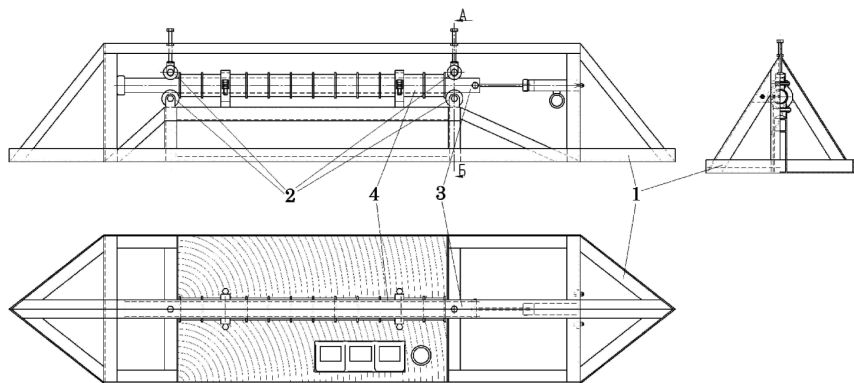


Рис. 1. Схема экспериментальной установки с трехфазным асинхронным линейным двигателем

ный лабораторный образец электромагнитного механизма подачи бурового станка. 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 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, 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.

Данный привод является линейной электрической машиной и имеет в своей основе статорную обмотку, подключаемую к сети трехфазного переменного тока, напряжением 380 В. В качестве ротора используются стандартные трубы бурового става, состоящие из стали, обладающей ферромагнитными свойствами.

Конструкция линейного трехфазного асинхронного двигателя является простой и технологичной. Его изготовление возможно как в условиях отдельного предприятия по изготовлению электрических двигателей, так и в условиях специально оборудованного цеха. Для производственной базы необходимы станки для токарных работ, станки для намотки проволоки обмоток, печь для сушки и обжига обмоток и других элементов. Двигатель может также состоять из нескольких секций, в каждую из которых уложено по одной обмотке. В этом случае перегоревшая обмотка может быть извлечена из обоймы и заменена достаточно быстро.

В результате лабораторных исследований были получены механические характеристики линейной асинхронной машины с массивным ротором.

В дальнейшем была разработана методика проектирования двигателя с необходимыми характеристиками. Экспериментально-расчетные механические для вращательно-подающих механизмов буровых станков показаны на рис. 2.

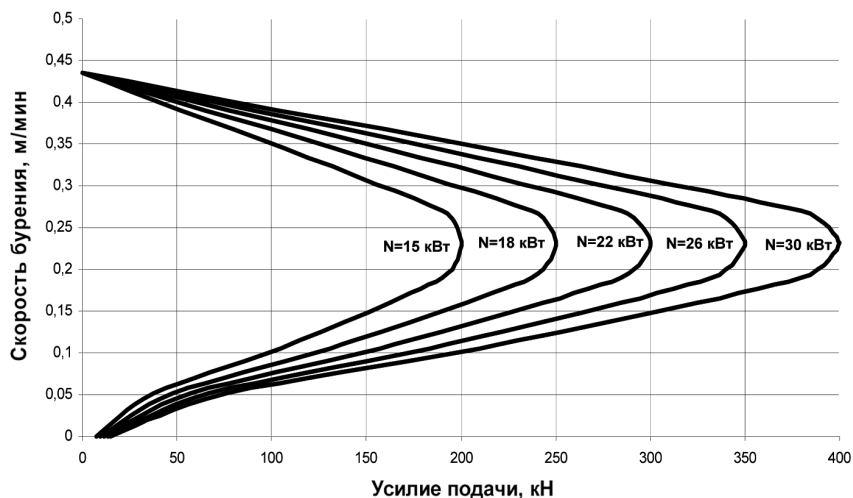


Рис. 2. Зависимости скорости от усилия подачи рабочего органа при различной потребляемой мощности


Из рис. 2 видно, что потребляемая мощность данного привода значительно меньше суммарной мощности гидронасосов привода подачи бурового станка СБШ-250 МНА-32, которая составляет около 60 кВт.

Общей особенностью различных конструкций адаптивного вращательно-подающего механизма является своевременное изменение режима работы двигателя подачи. Данный процесс происходит естественным образом, путем перемещения точки рабочего режима двигателя по ниспадающей ветви его механической характеристики, в случае изменения физико-механических свойств породы. Данный процесс крайне короток во времени и способен максимально снизить непрогнозируемые ударные нагрузки. С данной задачей может справиться только электромагнитный двигатель линейного исполнения, поскольку добавление любых промежуточных элементов в конструктивную схему неизбежно повлечет увеличение времени реагирования двигательной системы на изменение свойств породы. Увеличение времени реагирования может снизить эффект гашения ударных нагрузок. Применение же пассивных гасящих устройств требует детального изучения процессов возникновения резонанса в колебательном процессе, что значительно сужает область их применения. Конструкция электромагнитного двигателя не ограничивает степени свободы вращения бурово-

го става. Возможно сохранить применяющиеся в соответствующих буровых станках механизмы вращения.

В процессе бурения адаптивный электромагнитный привод без значительной задержки (время задержки приближается к половине периода колебания переменного напряжения электрической сети) реагирует на увеличение или уменьшение показателя буримости соответственным изменением величины тока в обмотке статора. Изменение тока фиксируется напрямую с обмотки двигателя. В автоматическом режиме, согласно заложенной в контроллере функции предполагается изменение режима бурения. Соответственно изменяются усилие и скорость подачи, а также момент на валу вращательного механизма и частота вращения бурового става. Регулировка режимов возможна следующими способами: 1) изменением схемы коммутации обмоток двигателя, сконструированного с необходимыми характеристиками; 2) понижением напряжения — для снижения жесткости механической характеристики двигателя и смягчения ударных нагрузок. Комплексное использование указанных способов позволит своевременно изменять режимные параметры и задавать оптимальные режимы бурения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Техника*, технология и опыт бурения скважин на карьерах / Под ред. В. А. Перетолчина. — М.: Недра, 1993. — 286 с.
2. *Шигин А. О., Гилев А. В.* Методика расчета усталостной прочности, как основного фактора стойкости шарошечных долот // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2012. — № 3. — С. 22–27.
3. *Анурьев В. И.* Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т.: Т.2. — 8-е изд., перераб. и доп. / Под ред. И. Н. Жестковой. — М.: Машиностроение, 2001. — 912 с.
4. *Крец В. Г., Саруев Л. А. и др.* Буровое оборудование: учебное пособие. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. — 121 с.
5. *Шигин А. О.* Основные принципы адаптивной системы подачи рабочих органов буровых станков // Вестник машиностроения. — 2011. — № 5. — 3 с. 

#### КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

*Шигин Андрей Олегович* — кандидат технических наук, доцент, Институт горного дела, геологии и геотехнологий, Сибирский федеральный университет, e-mail: shigin27@rambler.ru.



UDC  
622.233.05:  
621.3

**A.O. Shigin**

## **METHODS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF ROLLER-BIT DRILLING BLAST HOLES IN QUARRIES**

Solutions to the problem of reducing the stability of bits are presented with frequent changes of rock properties. The comparative analysis shows decisions and expediency of using adaptive rotationally-feeding mechanism, which will allow you to use a small range between the voltage level of the rolling bodies and the ultimate strength of the material. The analysis of roller-bit drilling machines possible adaptive response of the systems to changes in rock properties. Shown a positive effect on the resistance of roller bits available in the supply system of the machine cable boom tacking system. Shows the main functions of the key elements of adaptive systems rotary feed mechanism of the boring rig. To create adaptive engine to drive the feed of the working body of the drilling machine, developed experimental laboratory sample electromagnetic mechanism of the drilling machine. As a result of laboratory research were obtained mechanical characteristics of linear induction machine with a massive rotor. In the future, was developed to design the engine with the required characteristics. Total special peculiarity of different designs adaptive reciprocating feeding mechanism is a timely change of the operation mode of the engine inhouse. In the process of drilling adaptive electromagnetic actuator without considerable delay responds to an increase or decrease of boreability indicator a corresponding change in the value of the current in the stator winding.

Key words: massif, complex structure, roller bit, adaptive mechanism

### **AUTHOR**

*Shigin A.O.*, Candidate of Technical Sciences,  
Assistant Professor,  
Institute of mining, geology and geotechnologies,  
Siberian Federal University, 660025, Krasnoyarsk, Russia,  
e-mail: shigin27@rambler.ru.

### **REFERENCES**

1. *Tekhnika, tekhnologiya i opyt bureniya skvazhin na kar'erakh*. Pod red. V.A. Pere-tolchina (Drilling equipment, technology and practice in open pit mines Peretolchin V.A. (Ed.)), Moscow, Nedra, 1993, 286 p.
2. Shigin A. O., Gilev A. V. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo univer-siteta*. 2012, no 3, pp. 22–27.
3. Anur'ev V. I. *Spravochnik konstruktora-mashinostroitel'ya*. T. 2. 8-e izd. Pod red. I. N. Zhestkovoy (Mechanician's manual, vol. 2, 8th edition, Zhestkova I. N. (Ed.)), Moscow, Mashinostroenie, 2001, 912 p.
4. Krets V. G., Saruev L. A. *Burovoe oborudovanie: uchebnoe posobie* (Drilling equip-ment: Educational aid), Tomsk, Izd-vo TPU, 2011, 121 p.
5. Shigin A. O. *Vestnik mashinostroeniya*. 2011, no 5, 3 p.

