

УДК 622.233.05:621.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ УДАРНЫХ НАГРУЗОК ПРИ БУРЕНИИ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ ГОРНЫХ МАССИВОВ

Гилёв А.В., Шигин А.О.

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: office@sfu-kras.ru

Анализ наработок на отказ шарошечных долот показывает значительное снижение их стойкости в случае бурения породы со сложной структурой. Проблема снижения стойкости долот при частых изменениях свойств породы может быть решена применением адаптивного вращательно-подающего механизма, способного своевременно определять различные изменения свойств породы и реагировать, корректируя режим бурения. Метод моделирования ударных нагрузок при бурении сложноструктурных горных массивов заключается в измерении скачков давления в гидроцилиндре и тока в обмотке двигателя, вызываемых искусственно созданными гидроударами. Для процесса моделирования ударных нагрузок был разработан и изготовлен лабораторный исследовательский стенд, позволяющий моделировать ударные нагрузки, возникающие при увеличении показателя буримости на различную (заданную) величину при различных относительных значениях показателя буримости до и после удара. В исследовательском стенде в качестве привода применена система из трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и насоса объемного действия.

Ключевые слова: моделирование ударных нагрузок, бурение сложноструктурных горных массивов, исследовательский стенд, колебание величины тока, обмотка электродвигателя

WORKING OUT OF IDEALISED MODEL OF DRILLING OF ROCKS WITH VARIOUS PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES BY ROLLER BIT CHISELS

Gilev A.V., Shigin A.O.

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: office@sfu-kras.ru

The analysis of time between failures of roller bit chisels shows considerable decrease in their firmness in case of breed drilling with difficult structure. The problem of decrease in firmness of chisels at frequent changes of properties of breed can be solved by use of the adaptive rotary submitting mechanism capable in due time to define various changes of properties of breed and to react, correcting a drilling mode. The method of modeling of shock loadings at drilling of rocks with difficult structure consists in measurement of pressure jumps in the hydrocylinder and a current in a winding of the engine, caused is artificial the created hydroblows. For process of modeling of shock loadings the laboratory research stand, allowing to model the shock loadings arising at increase in an indicator of drilling capacity on various (set) size at various relative values of an indicator of drilling capacity before and after blow was developed and made. In the research stand as a drive the system from the three-phase asynchronous engine with a short-circuited rotor and the pump of volume action is applied.

Keywords: modeling of shock loadings, drilling of rocks with difficult structure, the research stand, fluctuation of size of a current, an electric motor winding

При бурении сложноструктурных массивов горных пород, имеющих колебание физико-механических свойств, часто возникают значительные ударные нагрузки и вибрация, результатом которых является увеличение циклических напряжений во всем буровом органе. В результате 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 может быть решена применением адаптивного вращательно-подающего механизма, способного своевременно определять различные изменения свойств породы и реагировать, корректируя режим бурения [2]. Для своевременного определения изменений свойств горной породы необходимо использовать изменения физических или технологических показателей, возникающие по этой причине. Величина, которая изме-

няется явно и с малой задержкой – это линейная скорость забуривания долота в породу и скорость вращения бурового става. Проблема заключается в том, что линейная скорость бурового става не соответствует полностью мгновенной скорости бурового долота по различным причинам. Особенно это проявляется в случае применения в качестве системы подачи нерегулируемых гидроцилиндров [3]. Несжимаемая жидкость не позволяет буровому ставу изменять линейную скорость, независимо от давления и подачи, создаваемых насосами. Удар бурового долота о слой породы, имеющей более высокий показатель буримости, стремится уменьшить линейную скорость бурового инструмента. Ударное усилие, возникающее по причине перехода кинетической энергии в потенциальную, передается по буровому ставу в гидроцилиндр системы подачи. Поскольку жидкость является несжимаемой, возникает гидроудар, сопровождающийся скачком давления. Скачок давления вызывает обратную волну, проходящую через буровой став к буровому ин-

струменту. Ударные нагрузки и колебательный процесс неблагоприятно отражаются как на стойкости бурового инструмента, так и на состоянии бурового става и вращательно-подающего механизма.

Для создания подающего усилия возможно применение адаптивной системы подачи [4]. Принцип адаптивного вращательно-подающего механизма основан на минимальном количестве звеньев в цепи вращательно-подающий механизм – буровой инструмент. Кроме того, адаптивный подающий привод должен максимально быстро реагировать на изменения скорости подачи, вызванные различными перепадами свойств породы. Это условие выполняется в случае применения в качестве привода подачи – линейного электромагнитного двига-

теля, обеспечивающего все необходимые технологические параметры. Тогда ударные нагрузки можно будет фиксировать по скачкам тока в обмотке двигателя.

Метод моделирования ударных нагрузок при бурении сложноструктурных горных массивов заключается в измерении скачков давления в гидроцилиндре и тока в обмотке двигателя, вызываемых искусственно созданными гидроударами. Для процесса моделирования ударных нагрузок был разработан и изготовлен лабораторный исследовательский стенд (рисунок), позволяющий моделировать ударные нагрузки, возникающие при увеличении показателя буримости на различную (заданную) величину при различных относительных значениях показателя буримости до и после удара.

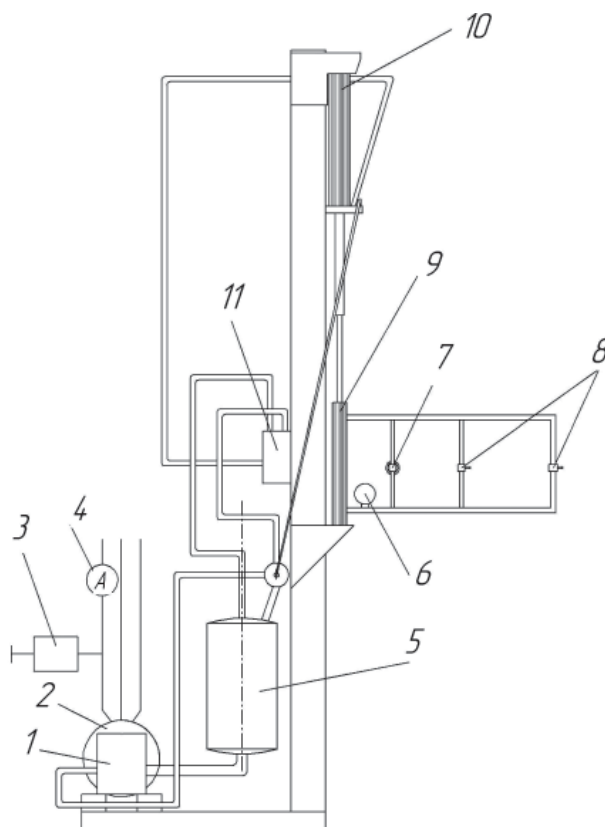


Схема исследовательского стенда для моделирования ударных нагрузок при бурении сложноструктурных горных массивов:

- 1 – насос шестеренчатый ГП1-22; 2 – трехфазный асинхронный электродвигатель;
- 3 – осциллограф; 4 – амперметр; 5 – масляный бак; 6 – манометр; 7 – кран шаровый рабочий;
- 8 – краны шаровые, регулировочные; 9 – гидроцилиндр измерительный;
- 10 – гидроцилиндр рабочий; 11 – золотник

В лабораторном стенде имеется рабочий гидроцилиндр 10, в который подается рабочая жидкость при помощи насоса 1 объемного действия, исключающего обратное перетекание жидкости в камеру насоса в случае гидроудара. Это необходимо для обеспечения жесткой связи между создава-

емыми скачками давления в измерительном гидроцилиндре 9 и скачками тока в обмотке двигателя 2, вращающего вал насоса 1. Моделируемые в стенде ударные нагрузки фиксируются в виде скачков тока в обмотке двигателя 2 при помощи осциллографа 3 и амперметра 4.

Для создания регулируемой нагрузки в стенде предусмотрен измерительный гидроцилиндр 9, имеющий перепускной патрубок. По перепускному патрубку рабочая жидкость перетекает из одной полости измерительного гидроцилиндра в другую под действием поршня. Штоки измерительного и рабочего гидроцилиндров жестко связаны между собой. Для создания гидроудара в перепускном патрубке предусмотрено несколько кранов 8, предназначенных для регулирования давления и скорости движения жидкости до создания удара. Кран 7 предназначен для резкого закрывания соответствующего трубопровода и создания скачка давления в гидросистеме.

Регулирование пропускной способности перепускного патрубка обеспечивается кранами 8. Кран 7, обеспечивающий резкое закрывание и скачок давления, всегда имеет одинаковое сечение и пропускную способность. При его закрывании рабочая жидкость будет протекать по оставшимся открытым трубопроводам. При закрывании одного или нескольких кранов 8 до создания удара мы имеем возможность регулировать сечение и пропускную способность каналов, по которым будет протекать рабочая жидкость после закрывания. В результате проведения серии экспериментов с разной пропускной способностью патрубков получим серию величин.

$$\frac{P_2 - P_1}{P_1},$$

где P_1 – давление в перепускной системе 6 до моделирования удара, закрыванием крана 7 в данном эксперименте, Па; P_2 – давление в перепускной системе 6 в момент моделирования удара, при закрывании крана 7 в данном эксперименте, Па.

Нахождение относительной величины позволит перенести полученные значения на величину

$$\frac{F_2 - F_1}{F_1} \text{ или } \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\sigma_1},$$

где F_1 – усилие, передаваемое через рабочий орган породе или реакция опоры со стороны породы до возникновения удара при изменении физико-механических свойств породы, Н; σ_1 – напряжение в каком-либо узле рабочего органа до возникновения удара при изменении физико-механических свойств породы, МПа; F_2 – усилие, передаваемое через рабочий орган породе или реакция опоры со стороны породы в момент удара при изменении физико-механических свойств породы, Н; σ_2 – напряжение в каком-либо узле рабочего органа в момент

удара при изменении физико-механических свойств породы, МПа.

Для решения проблемы несвоевременного реагирования на резкие изменения физико-механических свойств породы необходимо применять адаптивный привод подачи [4] рабочего органа бурового станка. Наиболее эффективно данная задача может быть реализована при помощи электромагнитного механизма подачи на основе линейного трехфазного асинхронного двигателя с массивным ротором [5].

В исследовательском стенде в качестве привода применена система из трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и насоса объемного действия. Механическая характеристика указанных асинхронных двигателей имеет схожую конфигурацию. Отличие заключается в величине КПД и наличии краевых эффектов у линейного двигателя. Однако при достаточно большой длине двигателя краевым эффектом можно пренебречь. Использование насоса объемного действия позволяет снизить неточность фиксирования скачков давления и других характеристик, поскольку рабочая жидкость является несжимаемой, и люфт могут давать только движущиеся части насоса. В случае применения насоса динамического действия данная методика неосуществима, поскольку рабочая жидкость при изменении давления может свободно перетекать через рабочую камеру насоса между лопаток рабочего колеса.

В связи с соблюдением критериев подобия данный стенд позволяет измерить также скачки тока в обмотках двигателя. Применение осциллографа для измерения колебаний тока позволит найти величину

$$\frac{I_2 - I_1}{I_1},$$

где I_1 – величина тока в обмотке двигателя до моделирования удара в данном эксперименте, А; I_2 – величина тока в обмотке двигателя в момент удара в данном эксперименте, А.

Кроме того, стенд позволяет определить линейную скорость движения поршня, при открытых кранах или одном, двух и трех закрытых кранах. Скорость движения поршня измерительного гидроцилиндра может быть определена по формуле

$$v = \frac{S}{t}, \text{ м/с,}$$

где S – ход поршня, м; t – время хода поршня при открытых кранах или одном, двух и трех закрытых кранах.

Если определить относительную величину

$$\frac{v_2 - v_1}{v_1},$$

то данную величину можно перенести на процесс бурения со скоростями, близкими к диапазону скорости движения поршня в стенде.

В результате проведения серии экспериментов и определения указанных характеристик можно построить зависимости

$$\frac{P_2 - P_1}{P_1} = f\left(\frac{v_2 - v_1}{v_1}\right);$$

$$\frac{F_2 - F_1}{F_1} = f\left(\frac{v_2 - v_1}{v_1}\right);$$

$$\frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\sigma_1} = f\left(\frac{v_2 - v_1}{v_1}\right);$$

$$\frac{I_2 - I_1}{I_1} = f\left(\frac{v_2 - v_1}{v_1}\right);$$

$$\frac{I_2 - I_1}{I_1} = f\left(\frac{P_2 - P_1}{P_1}\right).$$

Кроме того, важно определить время задержки между моментом возникновения удара и скачком тока в обмотке двигателя.

Для этого все эксперименты должны фиксироваться на видеокамеру, а затем по оцифрованной записи определять те или иные интервалы.

Выводы

1. Разработанный метод моделирования ударных нагрузок позволит изучить возникающие перегрузки в электрической и гидравлической системах вращательно-подающего механизма.

2. Изучение скачков тока в обмотке электродвигателя позволит использовать их в качестве информации о возникающих изменениях физико-механических свойств

породы для последующего автоматизированного изменения режима бурения.

НИР выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

Список литературы

1. Техника, технология и опыт бурения скважин на карьерах. Под ред. В.А. Перетолчина. – М.: Недра, 1993. – 286 с;
2. Разработка экспериментальной установки электромагнитный механизм подачи рабочего органа бурового станка / А.А. Волков и др. // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 2, – 6 с.
3. Подэрни Р.Ю. Горные машины и комплексы для открытых работ: Учебное пособие. – 4-е изд. – М.: Изд-во МГТУ, 2001. – 422 с.
4. Шигин А.О. Основные принципы адаптивной системы подачи рабочих органов буровых станков // Вестник машиностроения. – 2011. – № 5. – 3 с.
5. Исследование характеристик электромагнитного механизма подачи бурового станка / А.О. Шигин и др. // VIII Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященная 155-летию со дня рождения К.Э. Циолковского. – СФУ, 2012.

References

1. Equipment, technology and experience of drilling of wells on pits. Under the editorship of V.A. Peretolchina. M: Subsoil, 1993. 286 p.
2. Volkov A.A., etc. Working out of experimental installation with the electromagnetic feeder of working body of the chisel machine tool // Modern problems of science and education, no. 2, 2012. 6 p.
3. Poderni R. Yu. Mountain cars and complexes for open works: Manual. – 4th prod. – M: MMSU publishing house. 2001. 422 p.
4. Shigin A.O. Basic principles of adaptive system of giving of working bodies of drilling rigs // Messenger of mechanical engineering, no. 5, 2011. 3 p.
5. Shigin A.O., etc. Research of characteristics of the electromagnetic feeder of the drilling rig. The VIII All-Russia scientific and technical conference of students, graduate students and the young scientists, devoted to the 155 anniversary since the birth of K.E. Tsiolkovsky. SFU, 2012.

Рецензенты:

Крушенко Г.Г., д.т.н., профессор, Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск;

Михайлов А.Г., д.т.н., профессор, Институт химии и химической технологии СО РАН, г. Красноярск.

Работа поступила в редакцию 20.06.2012.