

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ АДАПТИВНОМ РЕАГИРОВАНИИ ВРАЩАТЕЛЬНО-ПОДАЮЩЕГО МЕХАНИЗМА БУРОВОГО СТАНКА

Шигин А.О.¹, Шигина А.А.¹, Бовин К.А.¹

¹ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия, e-mail: shigin27@rambler.ru

Приведены исследования максимальной эффективности разрушения горной породы при шарошечном бурении скважин в зависимости от частоты вращения долота, времени передачи энергии, приводящей к разрушению требуемого объема породы и усилия подачи рабочего органа. Графически представлены процессы образования, наложения гармоник ударной нагрузки и распространения ударной волны и сглаживания в процессе бурения. Определено допустимое максимальное усилие подачи при бурении массивов с различными физико-механическими характеристиками. Разработана методика расчета оптимальных режимных параметров бурения шарошечным долотом массивов горных пород, характеризующихся значительной трещиноватостью, слоистостью и изменением показателя буримости в широком диапазоне. Представлен сравнительный анализ повышения производительности бурового станка и стойкости бурового инструмента в результате применения адаптивного вращательно-подающего механизма.

Ключевые слова: ресурс, адаптивный привод, вращательно-подающий механизм, ударная нагрузка, стойкость долота.

ENHANCEMENT OF RESOURCE BORING TOOL IN THE ADAPTIVE RESPONSE OF BORING RIG ROTARY FEED MECHANISM

Shigin A.O.¹, Shigina A.A.¹, Bovin K.A.¹

¹Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia, e-mail: shigin27@rambler.ru

This article studies the maximum efficiency of rocks destruction when rolling cutter boring depending on the bit rotational speed, the transmission time of energy, resulting in destruction of the desired rock volume and the working body thrust. Graphically represents the processes of education, the imposition of harmonics shock loading and shock wave propagation and smoothing in the drilling process. Defined the maximum permissible feed force during drilling of arrays with different physical-mechanical characteristics. Developed the method of calculating the boring optimal process parameters by roller bits of rocks, characterized by a significant fracture, cleavage and change in the indicator of drillability in a wide range. Presents a comparative analysis of the boring rig productivity and boring resistance tool resulting from the use of adaptive rotary feed mechanism.

Keywords: resource, adaptive motor means, rotary feed mechanism, impact load, endurance roller bit.

Непосредственно в процессе бурения скважины свойства пород в горном массиве изменяются. Поэтому максимально допустимое усилие подачи рабочего органа бурового станка становится величиной переменной. Это связано с изменением напряжения в элементах опор шарошечных долот [3; 9]. Соответственно изменению показателя буримости и структуры массива по мере углубления долота меняется максимально допустимое усилие подачи. В современных отечественных и зарубежных буровых станках исключить внезапную ударную нагрузку практически невозможно. На изменение свойств породы уже позже реагирует машинист. Поэтому для предотвращения разрушения опор шарошечных долот вследствие единичного удара машинист заранее устанавливает заниженное усилие подачи. Величина заниженного усилия подачи определяется опытным путем индивидуально машинистом. Эта величина всегда меньше значения максимально допустимой эффективной величины режимного параметра [8; 10], которая определяется в зависимости от энергии,

которая необходима для разрушения горной породы [5] в долю времени.

Электромагнитный линейный привод подачи [2; 7] сглаживает все гармоники ударной нагрузки длительностью более 0,01 с при прохождении долотом трещин и пограничных зон пород с разной крепостью. Процесс образования и наложения гармоник ударной нагрузки показан на рис. 1.

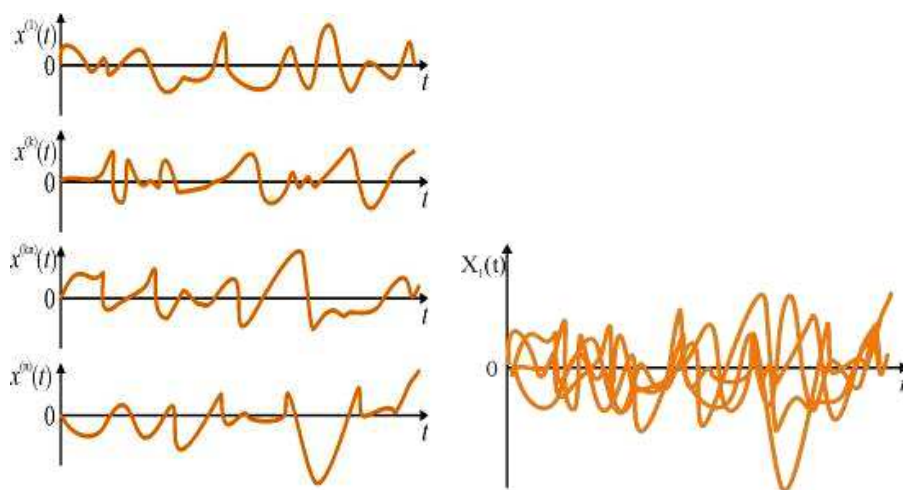


Рис. 1. Процесс образования и наложения гармоник ударной нагрузки в процессе бурения сложноструктурного массива шарошечными долотами

В случае применения в качестве адаптивного механизма подачи бурового станка линейного трехфазного электродвигателя с частотой напряжения сети 50 Гц гармоники ударной нагрузки длительностью более 0,01 с сглаживаются. При этом амплитуда сглаженной гармоники ударной нагрузки зависит от времени распространения импульса удара от места контакта зуба с породой до поверхности тел качения шарошки [6].

$$t = \frac{2l}{\sqrt{\frac{E}{\rho}}}, \quad (1)$$

где l – путь, пройденный ударным импульсом, м;

E – модуль упругости материала, по которому распространяется ударный импульс, Па;

ρ – плотность материала, по которому распространяется ударный импульс, кг/м³.

В связи с этим конструкция, материал шарошки, длина и материал зубьев непосредственно оказывают влияние на время распространения ударной волны. По результатам расчетов с применением выражения (1) для отечественных долот диаметром 244,5 мм с твердосплавными зубьями время распространения ударной волны приблизительно равняется 30 мкс (рис. 2). Для долота диаметром 244,5 мм с фрезерованными зубьями время распространения ударной волны увеличивается до 46 мкс.

В определенном масштабе форма ударной волны может быть представлена в виде

сегмента окружности, как показано на рис. 2. Тогда по оси ординат может быть отложена относительная величина мощности W энергии, преобразуемой в механическую в данный момент времени. А интеграл мощности за период времени t равен относительной величине работы или энергии, которая преимущественно направлена на разрушение опор качения долота. Данная работа может быть представлена в виде площади фигуры, ограниченной дугой окружности с центром O , радиусом R и хордой t , лежащей на оси абсцисс.

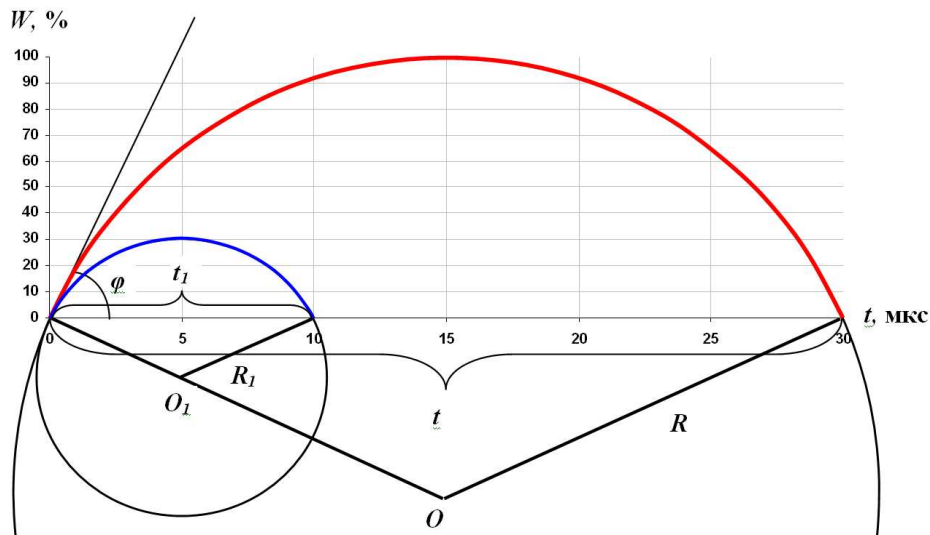


Рис. 2. Процесс распространения ударной волны и сглаживание при ее длительности более 0,01 с.

При осуществлении подачи рабочего органа на забой линейным асинхронным двигателем энергия поглощается электромагнитной связью, и ударная волна сглаживается в течение 10 мкс. Таким образом, энергия, преобразованная в механическую, показана на рис. 5 в виде площади фигуры, ограниченной дугой окружности с центром O_1 , радиусом R_1 и хордой t_1 , лежащей на оси абсцисс. Угол φ , образованный касательной к дугам, исходящей из начала координат, и осью абсцисс, одинаковый для обоих описанных случаев, поскольку в начальный момент времени $t = 0$ мощность ударной волны зависит только от усилия, скорости подачи рабочего органа на забой и физико-механических характеристик горной породы. Отсюда выражение для относительной величины энергии ударной волны без адаптивного привода подачи рабочего органа:

$$E_{уд} = \frac{t^2}{8 \cdot (\sin \varphi)^2} \cdot \left(\frac{\pi \cdot \varphi}{90} - \sin 2\varphi \right), \quad (2)$$

где $E_{уд}$ – относительная величина энергии ударной волны при взаимодействии бурового инструмента с горной породой;

t – время распространения ударной волны без адаптивного привода, мкс.

Выражение для относительной величины энергии ударной волны с подачей рабочего органа бурового станка адаптивным приводом:

$$E_{уд}^a = \frac{t_l^2}{8 \cdot (\sin \varphi)^2} \cdot \left(\frac{\pi \cdot \varphi}{90} - \sin 2\varphi \right), \quad (3)$$

где t_l – время распространения ударной волны с подачей рабочего органа бурового станка адаптивным приводом, мкс.

Таким образом, если пренебречь массой бурового става, при подаче рабочего органа адаптивным приводом максимально допустимое усилие подачи рабочего органа бурового станка определяется из допустимых нагрузок на тела качения шарошечных долот, а также отношения энергии ударной волны с подачей рабочего органа бурового станка адаптивным и неадаптивным приводом. С учетом величины напряжения в опорах шарошечных долот [1; 9] и выражений (2) и (3) допустимое максимальное усилие подачи при бурении массивов с различными физико-механическими характеристиками:

$$[P_{oc}^a] = 6 \cdot z \cdot D_p \cdot L_p \cdot \left(\frac{[\sigma_{р.ш}]}{600 \left(\left(\frac{2(v_6 + v_s/2)}{2(v_6 + v_s/2) - v_s/2} \cdot \frac{2\Pi_6^l + 2\Delta\Pi_6}{2\Pi_6^l + \Delta\Pi_6} - 2 \right) \cdot \frac{t_l^2}{t^2} + 2 \right)} \cdot k_{инд} \right)^3, \quad (4)$$

где $[P_{oc}^a]$ – допустимое усилие подачи рабочего органа адаптивным вращательно-подающим механизмом.

Частота вращения при бурении сложноструктурного массива горной породы с применением адаптивного привода может быть найдена из выражения:

$$[n_{вр}] = \frac{0,94 \cdot N}{10^8 \cdot \pi \cdot D_i^3 \cdot \Pi_6 \cdot h} \cdot \left(\left(\frac{2\Pi_6^l + 2\Delta\Pi_6}{2\Pi_6^l + \Delta\Pi_6} - 1 \right) \cdot \frac{t_l^2}{t^2} + 1 \right) \cdot k_{инд}. \quad (5)$$

Исходя из представленных выражений, ударная составляющая уменьшится. Напряжение в телах качения:

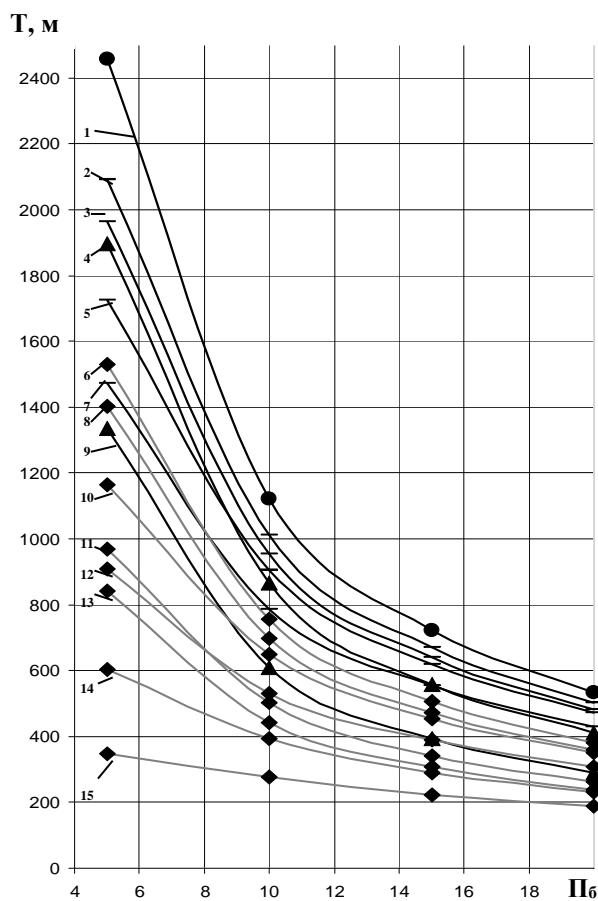
$$\sigma_{\text{р.уд}}^{\Sigma} = 600 \cdot \sqrt[3]{\frac{F_r}{z \cdot D_p \cdot L_p}} \cdot \left(\left(\frac{2(v_{\delta} + v_s/2)}{2(v_{\delta} + v_s/2) - v_s/2} \cdot \frac{2\Pi_{\delta}' + 2\Delta\Pi_{\delta}}{2\Pi_{\delta}' + \Delta\Pi_{\delta}} - 2 \right) \cdot \frac{t_I^2}{t^2} + 2 \right) \cdot k_{\text{инд}}, \quad (6)$$

В случае применения адаптивного привода подачи и бурения трехшарошечным долотом с твердосплавными запрессованными зубьями максимально допустимое усилие подачи может быть увеличено на 30–35%. При бурении долотом с фрезерованными зубьями максимально допустимое усилие подачи может быть увеличено на 35–40% в связи с большим вылетом зуба и временем прохождения ударной волны. Приблизительно на такую же величину может быть увеличена техническая скорость бурения в случае применения адаптивного электрического привода по отношению к станкам, оснащенным жестким гидравлическим приводом подачи рабочего органа.

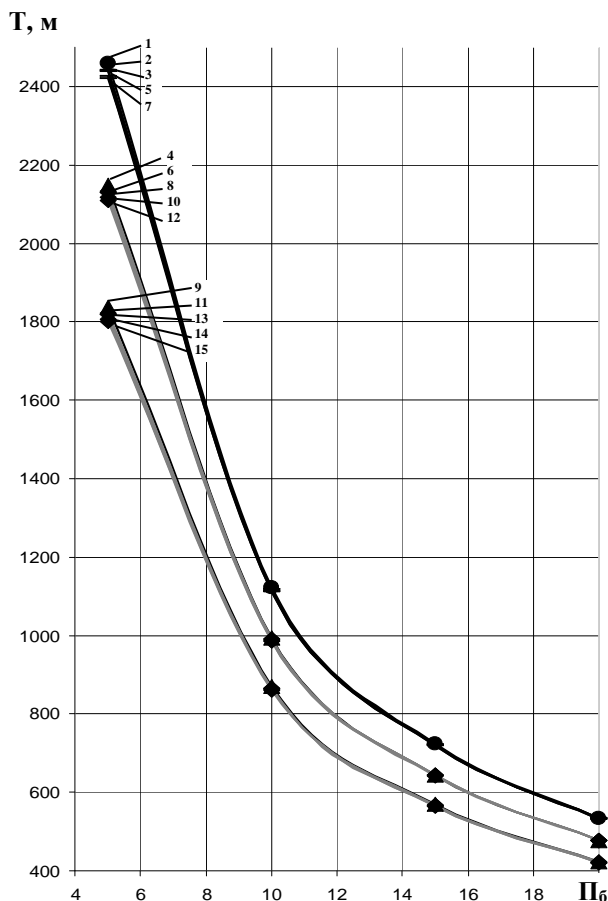
Стойкость трехшарошечных долот можно определить с помощью выражения

$$T = \frac{L}{2 \cdot n_{\text{вр}} \cdot 1,7} \cdot v_{\delta}, \text{ м.} \quad (7)$$

С учетом выражений (5) – (7) получены зависимости стойкости трехшарошечных долот в зависимости от показателя буримости, слоистости и трещиноватости (рис. 3).



а



б

Рис. 3. Стойкость буровых долот с твердосплавными зубьями в зависимости от значения показателя буримости [4]: а – кривые для жесткого (гидравлического) механизма подачи; б – кривые для адаптивного механизма подачи бурового станка

На рис. 6.5 маркером ● обозначена зависимость для однородной породы (кривая 1). Маркером — обозначены зависимости для слоистых пород. Кривая 2 получена для следующих характеристик породы: количество слоев породы на один погонный метр скважины $n_{сл} = 10 \text{ м}^{-1}$; средняя разница показателя буримости смежных слоев в массиве горной породы $\Delta Пб = 2$. Кривая 3 получена при $n_{сл} = 10 \text{ м}^{-1}$, $\Delta Пб = 4$; кривая 5 – при $n_{сл} = 20 \text{ м}^{-1}$, $\Delta Пб = 2$; кривая 7 – при $n_{сл} = 20 \text{ м}^{-1}$, $\Delta Пб = 4$. Маркером ▲ обозначены зависимости для трещиноватых пород. Кривая 4 получена при количестве трещин на один погонный метр скважины $n_{тр} = 10 \text{ м}^{-1}$; Кривая 9 – при $n_{тр} = 20 \text{ м}^{-1}$. Маркером ◆ обозначены зависимости для массивов горных пород, которые характеризуются и слоистостью, и трещиноватостью. Кривая 6 построена при $n_{тр} = 10 \text{ м}^{-1}$, $n_{сл} = 10 \text{ м}^{-1}$ и $\Delta Пб = 2$; кривая 8 – при $n_{тр} = 10 \text{ м}^{-1}$, $n_{сл} = 10 \text{ м}^{-1}$ и $\Delta Пб = 4$; кривая 10 – при $n_{тр} = 10 \text{ м}^{-1}$, $n_{сл} = 20 \text{ м}^{-1}$ и $\Delta Пб = 2$; кривая 11 – при $n_{тр} = 20 \text{ м}^{-1}$, $n_{сл} = 10 \text{ м}^{-1}$ и $\Delta Пб = 2$; кривая 12 – при $n_{тр} = 10 \text{ м}^{-1}$, $n_{сл} = 20 \text{ м}^{-1}$ и $\Delta Пб = 4$; кривая 13 – при $n_{тр} = 20 \text{ м}^{-1}$, $n_{сл} = 10 \text{ м}^{-1}$ и $\Delta Пб = 4$; кривая 14 – при $n_{тр} = 20 \text{ м}^{-1}$, $n_{сл} = 20 \text{ м}^{-1}$ и $\Delta Пб = 2$; кривая 15 – при $n_{тр} = 20 \text{ м}^{-1}$, $n_{сл} = 20 \text{ м}^{-1}$ и $\Delta Пб = 4$.

Таким образом, при бурении горных массивов со средней трещиноватостью и слоистостью буровыми станками с адаптивным вращательно-подающим механизмом стойкость трехшарошечных долот увеличивается более чем в 2 раза. При бурении горных массивов с высокой слоистостью буровыми станками с адаптивным вращательно-подающим механизмом стойкость трехшарошечных долот увеличивается до 65%. При бурении горных массивов с высокой трещиноватостью буровыми станками с адаптивным вращательно-подающим механизмом стойкость трехшарошечных долот увеличивается более чем в 5 раз.

Выводы

1. Своевременное изменение режимных параметров (скорости подачи, осевого усилия) за счет адаптивного механизма подачи бурового става обеспечивает повышение скорости бурения на 30–40% без снижения стойкости долота.
2. При бурении массивов горных пород со средней трещиноватостью и слоистостью буровыми станками с адаптивным вращательно-подающим механизмом стойкость шарошечных долот можно увеличить до 2 раз, а при бурении массивов с высокой трещиноватостью и слоистостью – до 5 раз.

Список литературы

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3 т. - 8-е изд., перераб. и доп. / под ред. И.Н. Жестковой. - М. : Машиностроение, 2001. - Т. 2. - 912 с.
2. Гилёв А.В., Шигин А.О. Теория рабочего процесса электромагнитного привода вращательно-подающего механизма бурового станка при бурении сложноструктурных горных массивов // *Фундаментальные исследования*. - 2012. - № 9-2. - С. 375-380.
3. Гилёв А.В., Шигин А.О., Доронин С.В., Гилёва Н.Н. Методы расчетов прочности при проектировании рабочих органов буровых станков // *Современные наукоемкие технологии*. - 2011. - № 1. - С. 132-134.
4. Подэрни Р.Ю. Горные машины и комплексы для открытых работ : учебное пособие. – 4-е изд. – М. : Изд-во МГГУ, 2001. – 422 с.
5. Цуприков А.А. Анализ процесса разрушения породы долотом при бурении скважин // *Научный журнал КубГАУ*. - 2011. - № 10. - С. 1–10.
6. Шелковников И.Г. Использование энергии удара в процессах бурения. - Л. : Недра, 1977. - 159 с.
7. Шигин А.О., Гилев А.В. Исследование режимов работы электромагнитного привода подачи бурового станка // *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. – 2013. - № 4. - С. 101-111.

8. Шигин А.О., Гилёв А.В. Разработка идеализированной модели бурения горных пород с различными физико-механическими свойствами // *Фундаментальные исследования*. - 2012. - № 3-3. - С. 665-667.
9. Шигин А.О., Гилев А.В., Шигина А.А. Напряжения и стойкость шарошечных долот при бурении сложноструктурных массивов горных пород // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. - 2013. - № 4. - С. 325-333.
10. Шигина А.А., Шигин А.О., Ступина А.А. Сравнительная оценка методов анализа эффективности функционирования буровых станков // *Современные проблемы науки и образования*. - 2012. - № 6. - С. 117.

Рецензенты:

Гилев А.В., д.т.н., профессор, профессор кафедры горных машин и комплексов ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск;

Михайлов А.Г., д.т.н., профессор, ФГБУН «Институт химии и химической технологии» СО РАН (ИХХТ СО РАН), г. Красноярск.