

А.В. Епихин**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПО АМПЛИТУДЕ НАПРЯЖЕНИЯ РЕЛАКСАЦИОННОГО ТОКА, ВОЗНИКАЮЩЕГО ПРИ РАЗРУШЕНИИ ГОРНОЙ ПОРОДЫ БУРЕНИЕМ**

Статья посвящена исследованию явления генерации релаксационных токов, при разрушении горных пород бурением, которое в перспективе может стать новым информационным каналом связи «забой-устье». Рассмотрена возможность определения оптимального значения частоты вращения породоразрушающего инструмента по амплитуде релаксационного тока для различных горно-геологических и технико-технологических условий эксперимента.

Цель работы: доказать возможность определения оптимальной частоты вращения породоразрушающего инструмента по амплитуде релаксационного тока для различных условий бурения.

Методы исследований: экспериментальные исследования по регистрации релаксационных токов в процессе бурения на специально разработанном масштабированном лабораторном стенде на базе сверлильного станка.

Результаты: Установлено, что возможно определение оптимальной частоты вращения породоразрушающего инструмента, соответствующей наибольшей механической скорости бурения в данных условиях, по амплитуде напряжения релаксационного тока, генерируемого при разрушении горных пород. Доказано, что зависимость между амплитудой напряжения релаксационного тока и частотой вращения породоразрушающего инструмента может быть описана математической моделью квадратичного вида, а коэффициенты при ее переменных зависят от горно-геологических и технико-технологических условий бурения.

Ключевые слова: разрушение горных пород, породоразрушающий инструмент, бурение, релаксационный ток, буровая коронка, частота вращения, параметры режима бурения.

Важность телеметрического сопровождения процесса бурения в виде регистрации и контроля горно-геологической и технологической информации о процессе очевидна. Особое значение имеет место контроль параметров режима бурения, под которыми понимают три основных составляющих, обеспечивающих выполнение задачи механического вращательного разрушения горных пород: осевая нагрузка на буровое долото, частота его вращения и интенсивность промывки забоя. Правильное сочетание параметров режима бурения по-

зволяет увеличить механическую скорость за счет повышения эффективности разрушения горной породы на забое.

Известно, что увеличение частоты вращения долота приводит к росту механической скорости бурения. Но при определенном ее критическом значении, которое определяется типом горной породы и породоразрушающего инструмента темп прироста механической скорости снижается и стремится к нулю [1]. Это значение характеризуется такой кинематикой работы долота, при которой не проис-

ходит эффективного разрушения горной породы. В результате происходит схлопывание трещины в горной породе до проникновения в нее фильтрата бурового раствора и, как следствие, снижение эффективности отрыва частиц горной породы от забоя [2].

Следовательно, поиск и контроль оптимального значения частоты вращения породоразрушающего инструмента является актуальной исследовательской задачей. Одним из новых способов для его осуществления является идея применения релаксационных токов, генерируемых при разрушении горных пород, в качестве источника полезного сигнала о процессе бурения.

С целью поиска зависимостей между частотой вращения породоразрушающего инструмента и характеристиками релаксационных токов был проведен ряд экспериментов по бурению горных пород на экспериментальном стенде в виде буровой установки на базе сверлильного станка с возможностью варьирования параметров режима бурения [3]. Эксперименты проводились с использованием 5 типов породоразрушающих инструментов: двухшарошечное алмазное долото, одношарошечное долото, алмазная буровая коронка, буровая ко-

ронка с твердосплавными пластинами, лопастное долото. Разнообразие горно-геологических условий обеспечивалось за счет использования 4 типов горных пород: мрамор, гранит, песчаник, бетон (в качестве модели гравелита).

Эксперименты проводились со ступенчатым повышением частоты вращения породоразрушающего инструмента. Шаг изменения частоты вращения: 100 об/мин. Начальное (минимальное) значение частоты вращения – 400 об/мин, максимальное – 800 об/мин. Другие диапазоны частот вращения породоразрушающего инструмента планируется изучить в дальнейших исследованиях. Зарегистрированные релаксационные токи обрабатывались, и проводился поиск вида математической модели, описывающей полученную зависимость. В качестве основного изучаемого параметра рассматривалось напряжение релаксационного тока [4–7].

В ранних исследованиях по изучению влияния осевой нагрузки на характеристики релаксационных токов было показано, что амплитуда напряжения релаксационного тока является характеристикой интенсивности разрушения горной породы. Это характерно для всех полученных экспери-

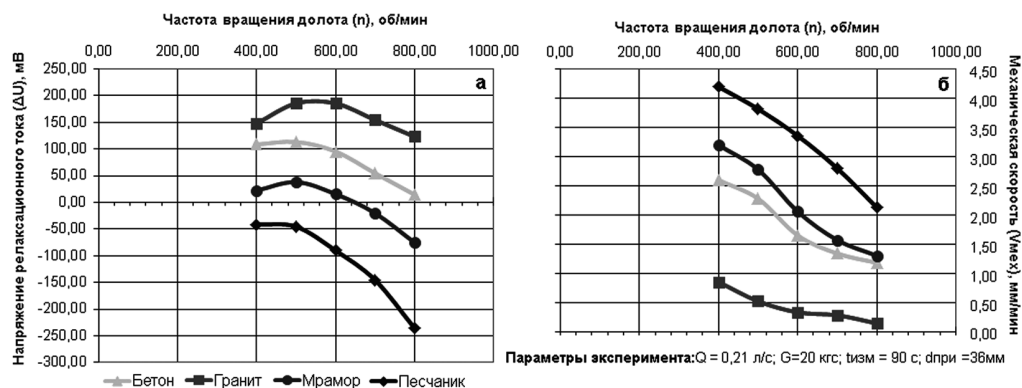


Рис. 1. Зависимость амплитуды напряжения релаксационного тока (а) и механической скорости бурения (б) от изменения частоты вращения алмазной буровой головки

ментальных зависимостей (рис. 1–2) и выражается в корреляции между графиками $\Delta U = f(n)$ и $V_{\text{мех}} = f(n)$. Анализ графиков позволил сделать вывод: при увеличении частоты вращения породоразрушающего инструмента закономерно растет интенсивность разрушения породы (рост механической скорости), равно как амплитуда напряжения регистрируемого релаксационного тока. Но при превышении определенного (оптимального) значения частоты вращения происходит снижение, как механической скорости, так и величины релаксационного тока, что может быть обусловлено сокращением времени контакта единицы вооружения с забоем [6].

При сохранении исходных данных эксперимента (тип породоразрушающего инструмента, параметры режима бурения) прочностные характеристики пород сказываются на величине механической скорости бурения по принципу обратной пропорциональности: выше прочность – выше амплитуда напряжения релаксационного тока (по модулю) – ниже механическая скорость [4–7].

Для условий эффективного разрушения горной породы на забое математическая модель, характеризующая

зависимость амплитуды напряжения релаксационного тока от изменения частоты вращения породоразрушающего инструмента может быть представлена в виде квадратичной зависимости вида (1):

$$\Delta U = a \cdot n^2 + b \cdot n + c, \quad (1)$$

где ΔU – амплитуда напряжения релаксационного тока, мВ; n – величина частоты вращения породоразрушающего инструмента, об/мин; a и b – коэффициенты, характеризующие крутизну наклона ветвей параболы и несущие информацию о технико-технологических условиях бурения обуславливающих эффективность разрушения горной породы на забое (механизм разрушения горной породы, тип используемого породоразрушающего инструмента и т.д.); c – коэффициент, отвечающий за смещение параболы вдоль оси OY и несущий информацию о горно-геологических условиях эксперимента при заданном механизме разрушения горной породы, а точнее о прочностных характеристиках горной породы.

Помимо общего вида и числовых коэффициентов информация заложена в координатах вершины параболы. В исследуемых математических моде-

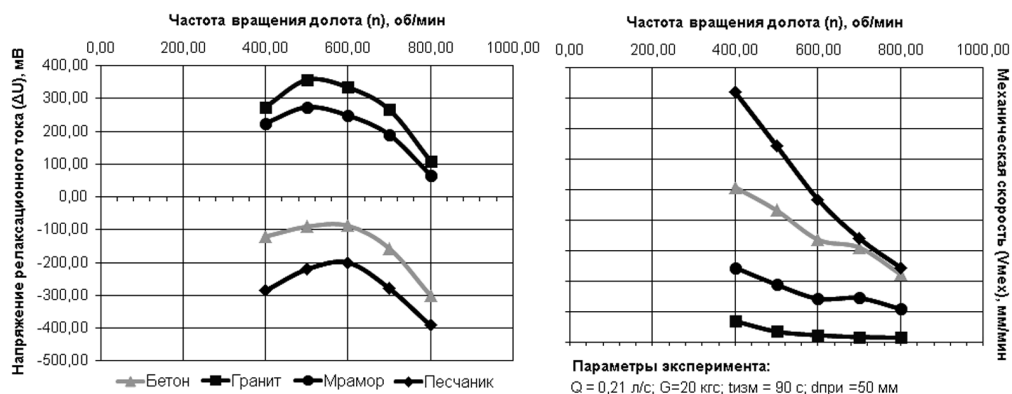


Рис. 2. Зависимость амплитуды напряжения релаксационного тока (а) и механической скорости бурения (б) от изменения частоты вращения алмазной одношарошечного долота

лях, она по оси ординат соответствует максимальному значению величины напряжения (по модулю). По оси абсцисс вершина параболы будет соответствовать некоторой частоте вращения, которая будет определять момент увеличения концентрации шлама до состояния насыщения жидкости до наступления зашламования призабойной зоны. Это подтверждается тем, что на соответствующих графиках $V_{\text{мех}} = f(n)$ после достижения значений оптимальной частоты вращения происходил скачок механической скорости, сменяющийся нисходящим трендом [6–7].

По результатам исследований было сделано несколько выводов. Во-первых, имеет место пропорциональная корреляция между зависимостями механической скорости и напряжения

релаксационного тока от изменения частоты вращения. Во-вторых, зависимость $\Delta U = f(n)$ может быть описана квадратичной математической моделью, вершина которой определяет значение оптимальной частоты вращения, достаточной для обеспечения нормального разрушения горной породы. В-третьих, величина коэффициентов для математической модели $\Delta U = f(n)$ и знаков при них несет информацию о горно-геологических и технико-технологических условиях эксперимента. Полученные результаты доказывают актуальность и необходимость дальнейшего проведения исследований в направлении изучения зависимости характеристик релаксационных токов от варьирования параметров режима бурения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шигин А.О., Гилев А.В. Разработка идеализированной модели бурения горных пород с различными физико-механическими свойствами [Электронный ресурс] // Фундаментальные исследования. Электронный журнал. Режим доступа: <http://www.rae.ru/>.

2. Влияние частоты вращения долота. Влияние расхода бурового раствора [Электронный ресурс]//Neftrussia.ru. Информационный сайт. – 2014. Режим доступа: <http://nefrussia.ru>.

3. Епихин А.В., Евсеев В.Д., Самохвалов М.А. Патент 2494367 РФ, МПК G01N27/00, G01N3/08 Устройство для регистрации электромагнитного излучения, возникающего при разрушении горных пород бурением, и способ его применения. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2011100192/28, Заявл. 11.01.2011. Оpubл. 27.09.2013.

4. Епихин А.В., Карнеев К.В. Исследование влияния различных факторов на импульсные электрические токи, возникающие при разрушении горных пород / Материалы X юбилейной международной молодеж-

ной научной конференции «Севергеоэко-тех-2009», г. Ухта, 2009. – С. 177–180.

5. Епихин А.В., Карнеев К.В. Analysis of different factors on electric current impulses during drilling / Труды XIII Международного симпозиума студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр», Томск, 2009. – С. 929–932.

6. Епихин А.В., Ковалев А.В. Оценка частоты вращения породоразрушающего инструмента по спектрам постоянных токов, возникающих при разрушении горных пород на забое / Материалы XII международной молодежной научной конференции «Севергеоэко-тех-2011», г. Ухта, 2011. – С. 23–26.

7. Епихин А.В., Ковалев А.В. Перспективы использования релаксационных токов в качестве источника информации о параметрах режима бурения / Труды VI Открытой региональной молодежной конференции ОАО «ТомскНИГИннефть» «Проблемы разведки, разработки и обустройства месторождений нефти и газа», Томск, 2013. – С. 220–225. **ПАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Епихин Антон Владимирович – старший преподаватель, ИПР ТПУ, e-mail: epikhinav@mail.ru.

**DETERMINATION OF OPTIMUM SPEED ROCK CUTTING TOOL
BY AMPLITUDE OF VOLTAGE ELECTRIC CURRENTS GENERATED
IN ROCK DESTRUCTION BY DRILLING**

Epikhin A.V., Senior Lecturer, e-mail: epikhinav@mail.ru,
Institute of Natural Resources,
National Research Tomsk Polytechnic University,
Tomsk, Russia.

This article is devoted to the study of the generation of electric currents in rocks destruction by drilling. In the future it could become a new information channel of communication «well bottom – surface». The possibility of determining the optimum value of speed rock cutting tool in the amplitude of the electric currents for various geological, technical and technological conditions of the experiment.

The main aim of the study: to prove the possibility of determining the optimal speed or drill bit for electric currents amplitude for various drilling conditions .

Research methods: Experimental research on the registration of electric currents during drilling by specially designed laboratory drill rig based on the vertical drilling machine

Results: It was found that it is possible to determine the optimal speed of drill bit according to the highest penetration rate in these conditions, the voltage amplitude of the electric currents which generated by rock destruction. It is proved that the relation between the voltage amplitude of the electric currents and speed rock cutting tool can be described by a mathematical model of quadratic type, and the coefficients of the variables it depends on the geological, technical and technological conditions of the drilling.

Key words: rock destruction, rock cutting tool, drill bit, drilling, electric currents, rotary speed, drilling mode settings.

REFERENCES

1. Shigin A.O., Gilev A.V. *Fundamental'nye issledovaniya. Elektronnyy zhurnal*, available at: <http://www.rae.ru>.
2. *Vliyaniye chastoty vrashcheniya dolota. Vliyaniye raskhoda burovogo rastvora. Neftrussia.ru. Informatsonnyy sayt.* 2014, available at: <http://neftrussia.ru>.
3. Epikhin A.V., Evseev V.D., Samokhvalov M.A. *Patent RU 2494367, MPK G01N27/00, G01N3/08*, 27.09.2013.
4. Epikhin A.V., Karneev K.V. *Materialy X yubileynoy mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii «Severgeokotekh-2009»*, g. Ukhta (Proceedings of the X anniversary International Youth Scientific Conference «Severgeocotech 2009», Ukhta), Ukhta, 2009, pp. 177–180.
5. Epikhin A.V., Karneev K.V. *Trudy XIII Mezhdunarodnogo simpoziuma studentov i molodykh uchenykh imeni akademika M.A. Usova «Problemy geologii i osvoeniya nedr»*, Tomsk (Proceedings of the XIII International Symposium of students and young scientists named after Academician M.A. Usov «Problems of Geology and Mineral Resources Development», Tomsk), Tomsk, 2009, pp. 929–932.
6. Epikhin A.V., Kovalev A.V. *Materialy XII mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii «Severgeokotekh-2011»*, g. Ukhta (Proceedings of XII International Youth Scientific Conference «Severgeocotech 2011», Ukhta), Ukhta, 2011, pp. 23–26.
7. Epikhin A.V., Kovalev A.V. *Trudy VI Otkrytoy regional'noy molodezhnoy konferentsii OAO «TomskNIPIneft» «Problemy razvedki, razrabotki i obustroystva mestorozhdeniy nefiti i gaza»*, Tomsk (Proceedings of the VI Open regional youth conference of «TomskNIPIneft» «Problems of exploration, development and construction of oil and gas», Tomsk), Tomsk, 2013, pp. 220–225.

