



**ЗАБОЙНЫЙ МУЛЬТИПЛИКАТОР ДЛЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО
АЛМАЗНОГО БУРЕНИЯ ГЛУБОКИХ РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН**

В. И. Склянов

*Норильский государственный индустриальный институт,
E-mail: vladimir-sklyanov@yandex.ru, ул. 50 лет Октября 7, г. Норильск 663300, Россия*

Рассмотрен способ интенсификации процесса разрушения горных пород при алмазном бурении глубоких скважин. Для повышения частоты вращения породоразрушающего инструмента предложена принципиально новая кинематическая схема синусошарикового роторно-мультипликаторного бура. Теоретически обоснованы возникающий реактивный момент и требуемая сила прижатия башмаков тормозного устройства. С помощью роторно-мультипликаторного бура можно осуществлять бурение в режимах, близких к оптимальным, и повысить механическую скорость процесса в 1.5–2.0 раза, а оснащение его специальными съемными узлами позволит применить в бурении скважин со съемными кернаприемниками.

Горная порода, алмазный породоразрушающий инструмент, частота вращения, механическая скорость бурения, генератор механической энергии, синусошариковый роторно-мультипликаторный бур, заякоривающее устройство

**DOWNHOLE MULTIPLIER FOR HIGH-FREQUENCY DIAMOND DRILLING
OF DEEP EXPLORATORY WELLS**

V. I. Sklyanov

*Norilsk State Industrial Institute, E-mail: vladimir-sklyanov@yandex.ru,
ul. 50 let Otyabrya 7, Norilsk 663300, Russia*

The method of rock failure stimulation in diamond drilling of deep wells is considered. To increase the rotational frequency of a rock cutting tool, a fundamentally new kinematic diagram of a sinusoidal ball rotary multiplier drill is proposed. The resulting reactive moment and the required pressing force for the braking shoe are theoretically justified. Using the rotary multiplier drill, it is possible to drill in the conditions close to optimal and increase the mechanical speed by 1.5–2.0 times. Equipping the rotary multiplier drill with special removable units allows using it in drilling wells with removable core receivers.

Rock, diamond rock-cutting tool, rotational frequency, mechanical drilling speed, mechanical energy generator, sinusoid ball rotary multiplier drill, anchoring device

Исследования в области разрушения твердых горных пород алмазным инструментом, опыт и технологии буровых работ и камнеобработки показывают, что резервы роста механической скорости бурения связаны, прежде всего, с повышением скорости перемещения алмазных резцов. В то же время рост этой скорости и, соответственно, частоты вращения бурильных колонн ограничивается условиями бурового процесса. Например, при бурении глубоких скважин (до 1000 м и более) диаметром 76 и 59 мм алмазным породоразрушающим инструментом частота вращения колонны бурильных труб не превышает 350 мин⁻¹. При больших значениях растет количество обрывов бурильной колонны, наблюдается значительный износ бурильных труб и существенно повышается расход мощности на преодоление сопротивлений во время трения труб о стенки скважины. При этом линейная скорость резания не превышает 1–1.5 м/с (особен-

но при бурении скважин малого диаметра), что недостаточно для алмазного инструмента (рекомендуемая для импрегнированных алмазных коронок — 2–5 м/с). Соответственно, применяемые частоты вращения алмазного бурового наконечника существенно ниже оптимальных [1–5].

Снижение механической скорости бурения по мере роста глубины скважин определяется значительным ростом затрат мощности на вращение бурильной колонны, ее вибраций и колебаний, обрывов, работающих часто на пределе возможностей бурильных труб. Все это показывает, что бурильная колонна — малоэффективное средство передачи энергии от бурового станка к забюю, особенно при алмазном бурении глубоких скважин [6].

Для интенсификации разрушения горных пород при бурении можно перенести генератор механической энергии в скважину. В настоящее время с этой целью применяют гидродвигатели [7] и электробуры. Но для турбобуров необходимо высокое давление в нагнетательной линии, кроме того, затруднено регулирование частоты вращения бурового наконечника и количества промывочной жидкости, а для электробуров сложно подать электроэнергию на забюю.

В связи с указанными недостатками гидродвигателей (турбобуров) и электробуров в данной работе предлагается использовать преобразователь механической энергии — забюнный мультипликатор (передаточный механизм, служащий для повышения частоты вращения), который позволит:

— уменьшить потери энергии при ее передаче от поверхностного генератора до горных пород на забюю скважины (увеличения КПД передачи) за счет перемещения преобразователя механической энергии к забюю;

— увеличить удельную энергию, передаваемую горной породе благодаря повышению частоты вращения породоразрушающего инструмента.

Исходя из проведенного анализа известных устройств для повышения частоты вращения породоразрушающего инструмента предлагается принципиально новая кинематическая схема синусошарикового роторно-мультипликаторного бура, которую можно использовать как основу для проведения НИОКР по созданию его экспериментальных образцов.

Жестко скрепленная с концом ведомого вала мультипликатора, колонна бурильных труб с ведущим валом мультипликатора связана поступательной парой, а с заякоривающим устройством — вращательной парой, при этом заякоривающее устройство жестко соединено с корпусом мультипликатора. Связь колонны бурильных труб с ведущим валом мультипликатора поступательной парой обеспечивает работу синусошариковой передачи для повышения частоты вращения ведомого вала с породоразрушающим инструментом, а связь с заякоривающим устройством вращательной парой позволяет посредством башмаков заякоривающего устройства, взаимодействующих со стенками скважины, удерживать обратный (реактивный) момент, передавая одну часть осевого усилия от бурильной колонны на стенки скважины, а другую через корпус мультипликатора — на породоразрушающий инструмент.

На рис. 2 показаны силы, действующие в роторно-мультипликаторном буре: F_1 — осевая нагрузка от бурильной колонны; F_2 — радиальное усилие на прижатие тормозных башмаков к стенкам скважины; F_3 — результирующая сила, направленная вдоль поверхности клина; F_4 — осевая нагрузка на породоразрушающий инструмент; φ — угол клина; φ' — угол трения; M_1 — крутящий момент в колонне бурильных труб; M_2 — крутящий момент на ведомом валу мультипликатора; i — передаточное число; η — КПД синусошариковой передачи; N_3 — мощность на забюю; n_2 — частота вращения ведомого вала мультипликатора.

Установление жесткой связи одной из деталей заякоривающего устройства с корпусом мультипликатора обеспечивает достаточно надежную передачу обратного момента на стенки скважины. Другими словами, конструкция устройства позволяет передавать возникающий при бурении обратный момент от забюю на стенки скважины, а осевое усилие от бурильной колонны — на забюю. Такое перераспределение усилий кратно увеличивает частоту вращения породоразрушающего инструмента по сравнению с бурильной колонной.

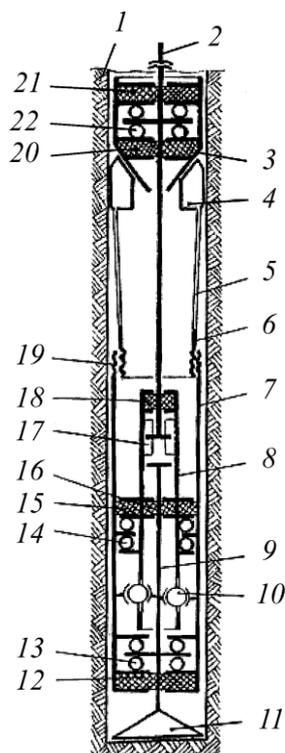


Рис. 1. Роторно-мультипликаторный бур: 1 — скважина; 2 — бурильная труба; 3–6 — детали тормозного механизма; 7–10 — детали синусошарикового мультипликатора; 11 — алмазная коронка; 12, 15, 16, 18, 20, 21 — уплотнения; 13, 14, 22 — подшипники; 17 — шлицевое соединение; 19 — резьбовое соединение

Устройство работает следующим образом (рис. 1): осевая нагрузка от колонны бурильных труб 2 через подшипник 22 передается на башмаки 4 и уравнивается двумя группами сил: первая действует на башмаки со стороны породоразрушающего инструмента 11, т. е. передается от алмазного породоразрушающего инструмента к башмакам через подшипник 13, корпус 7, резьбу 19, трубу-основание 6 и пружины 5; вторая приложена к башмакам 4 со стороны стенок скважины 1.

Из условий равновесия ясно, что при бóльшей осевой нагрузке, передаваемой башмакам 4 от колонны бурильных труб, будут и больше силы, направленные на внедрение элементов башмаков 4 в стенки скважины 1. Это позволяет передать через силы сцепления или сопротивления резанию возникающий при бурении реактивный момент на стенки скважины 1, что в свою очередь обуславливает кратное увеличение частоты вращения ведомого вала 9 с породоразрушающим инструментом 11 при одновременном более интенсивном движении по оси скважины 1.

Реактивный момент в тормозном устройстве (соответственно, и в бурильной колонне) равен:

$$M_p = M_3 u / \eta,$$

где M_3 — крутящий момент на забое, Н·м; u — передаточное число мультипликатора; η — КПД синусошариковой передачи.

Выполненные исследования показали, что требуемая сила прижатия башмаков тормозного устройства N находится в прямой зависимости от осевой нагрузки, частоты вращения породоразрушающего инструмента и должна удовлетворять условию:

$$N > M_p / f_{\text{тр}} r,$$

где $f_{\text{тр}}$ — коэффициент трения проходимых пород; r — радиус скважины.

При изменении частоты вращения породоразрушающего инструмента силу N можно регулировать с помощью угла конуса в тормозном устройстве роторно-мультипликаторного бура.

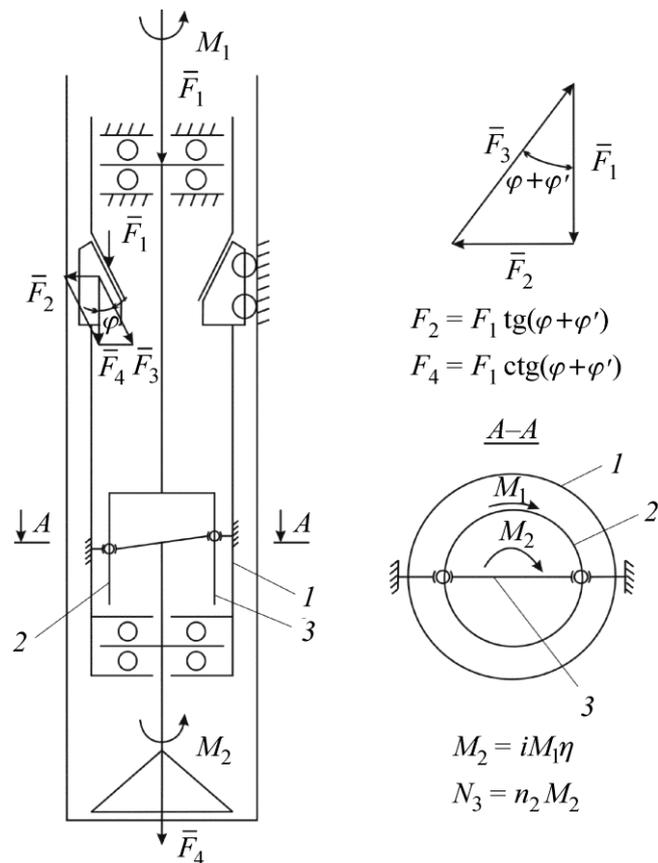


Рис. 2. Силы, действующие в роторно-мультипликаторном буре: 1 — корпус; 2 — водило синусошарикового мультипликатора; 3 — ведомый вал

Экспериментальные исследования работоспособности и оценка КПД действующего макетного образца синусошарикового мультипликатора диаметром 73 мм (рис. 3; 4) проведены на испытательном стенде Могилевского машиностроительного института. При этом были решены следующие вопросы [8–10]:

- проверена работоспособность и практическая приемлемость синусошариковой передачи для ее работы в мультипликаторном режиме;
- найдены принципиальные конструкторско-технологические решения для создания многорядного синусошарикового мультипликаторного узла диаметром 73 мм, обеспечивающие сборку при сохранении конструкторской и технологической простоты устройства;
- обоснована целесообразность работ по созданию промышленно работоспособной конструкции той части роторно-мультипликаторного бура, которая обеспечит реализацию реактивного момента на стенки скважины.

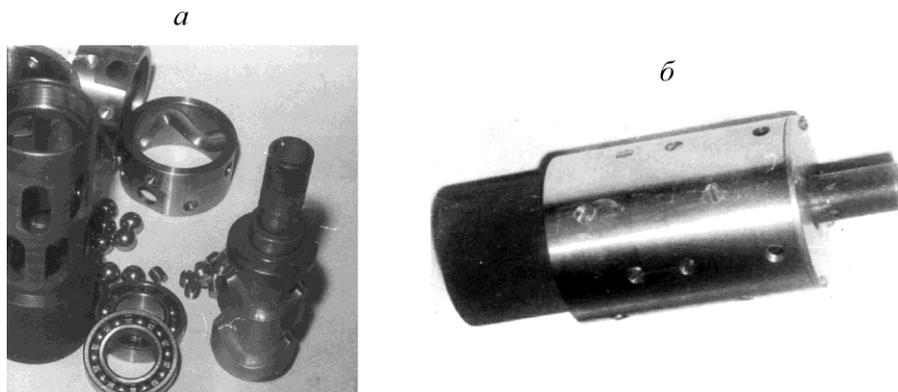


Рис. 3. Детали макета мультипликатора (а) и макет мультипликатора в сборке (б)

ВЫВОДЫ

Для повышения частоты вращения породоразрушающего инструмента предлагается принципиально новая кинематическая схема синусошарикового роторно-мультипликаторного бура, с помощью которого можно вести бурение на режимах, близких к оптимальным и повысить механическую скорость процесса в 1.5–2.0 раза. Оснащение роторно-мультипликаторного бура специальными съемными узлами позволит применить его в бурении скважин со съемными керноприемниками, а также в направленном бурении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Blinov G. A., Burkin L. G., Volodin O. A., et al.** Technique and technology of high-speed drilling, Moscow, Nedra, 1982, 408 pp. (in Russian) [**Блинов Г. А., Буркин Л. Г., Володин О. А. и др.** Техника и технология высокоскоростного бурения. — М.: Недра, 1982. — 408 с.]
2. **Ignatishchev R. M., Krez A. I., Gromyko P. N., Sklyanov V. I., et al.** Creation of scientific groundwork for applied research and experimental development of a rotary-multiplier drill 73 mm in diameter operating in the mode of increasing the rotation frequency by 2.0-2.5 times, Report of TWC Sinus-4 based on Mogilev Engineering Institute, Mogilev, 1990, 50 pp. (in Russian) [**Игнатищев Р. М., Крез А. И., Громько П. Н., Склянов В. И. и др.** Создание научного задела под прикладные исследования и опытно-конструкторские работы роторно-мультипликаторного бура диаметром 73 мм, работающего в режиме повышения частоты вращения в 2.0–2.5 раза // Отчет ВТК “Синус-4” на базе Могилевского машиностроительного института. — Могилев, 1990. — 50 с.]
3. **Sklyanov V. I. and Perepelkin M. A.** Influence of the rotation frequency of a diamond rock cutting tool on the technical indicators of drilling exploratory wells, Mining, 2017, no. 5, pp. 96–97 (in Russian) [**Склянов В. И., Перепелкин М. А.** Влияние частоты вращения алмазного породоразрушающего инструмента на технические показатели бурения разведочных скважин // Горная промышленность. — 2017. — № 5. — С. 96–97.]
4. **Kardysh V. G., Murzakov B. V., and Okmyansky A. S.** Technique and technology for drilling exploration wells abroad, Moscow, Nedra, 1989, 256 pp. [**Кардыш В. Г., Мурзаков Б. В., Окмянский А. С.** Техника и технология бурения геологоразведочных скважин за рубежом. — М.: Недра, 1989. — 256 с.]
5. **Kornilov N. I., Blinov G. A., and Kurochkin P. N.** The technology of drilling wells with diamond rock cutting tools at high speeds. Moscow, Nedra, 1978, 237 pp. [**Корнилов Н. И., Блинов Г. А., Курочкин П. Н.** Технология бурения скважин алмазным породоразрушающим инструментом на высоких скоростях вращения. — М.: Недра, 1978. — 237 с.]
6. **Soloviev N. V., Chikhotkin V. F., Bogdanov R. K., and Zakora A. P.** Resource-saving technology of diamond drilling in difficult geological conditions, Moscow, VNIIOENG, 1997 [**Соловьев Н. В., Чихоткин В. Ф., Богданов Р. К., Загора А. П.** Ресурсосберегающая технология алмазного бурения в сложных геологических условиях. — М.: ВНИИОЭНГ, 1997.]
7. **Gusman M. T., Baldenko D. F., Kochnev A. M., et al.** Downhole screw motors for drilling wells, Moscow, Nedra, 1981, 232 pp. [**Гусман М.Т., Балденко Д.Ф., Кочнев А.М. и др.** Забойные винтовые двигатели для бурения скважин. — М.: Недра, 1981. — 232 с.]
8. **Sklyanov V. I.** Analysis of power costs for the rotation of the drill string, equipped with a rotary-multiplier drill, Exploration and protection of the subsoil, 2016, no. 6, pp. 36–38 (in Russian) [**Склянов В. И.** Анализ затрат мощности на вращение бурильной колонны, оснащенной роторно-мультипликаторным буром // Разведка и охрана недр. — 2016. — № 6. — С. 36–38.]
9. Пат. 2261319 RF. Rotary-multiplier drill, V. I. Sklyanov, Byull. Izobret., 2005, no. 27 [Пат. 2261319 РФ. Роторно-мультипликаторный бур / В. И. Склянов // Оpubл. в БИ. — 2005. — № 27.]
10. **Neskoromnykh V. V. and Kostin Yu. S.** Theoretical foundations of fracture mechanics and engineering design and directional drilling technology of anisotropic rocks, Irkutsk, publishing house of ISTU, 2000, 220 pp. [**Нескоромных В. В., Костин Ю. С.** Теоретические основы механики разрушения и проектирования техники и технологии направленного бурения анизотропных пород. — Иркутск: Изд-во ИрГТУ. — 2000. — 220 с.]