

А.Я. Третьяк, В.В. Попов, А.Н. Гроссу, К.А. Борисов

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К КОНСТРУИРОВАНИЮ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО ПОРОДРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Обозначены инновационные подходы к конструированию высокоэффективного породоразрушающего инструмента. Предложено двухъярусное долото, состоящее из двух ярусов: пилотного с приводом от забойного двигателя и скважинообразующего с приводом от планетарного редуктора. На каждом ярусе имеются режущие лопасти, армированные алмазно-твердосплавными пластинами. Приведен расчет числа лопастей. Выполнены исследования по определению зависимости критических скоростей резания от контактной прочности породы. Кинематическая схема планетарного редуктора позволяет долоту выполнять двойное вращательное действие (движение верхней части долота влево, а нижней — вправо), что способствует увеличению механической скорости бурения, уменьшению искривления ствола скважины, повышению стойкости долота. Предложен прогноз по технологии изготовления породоразрушающего инструмента. Разработанное двухъярусное долото является инновационным подходом к конструированию высокоэффективного породоразрушающего инструмента, защищено патентом и может быть внедрено при сооружении скважин на углеводородное сырье.

Ключевые слова: породоразрушающий инструмент, алмазно-твердосплавные пластины, двухъярусное долото, планетарный редуктор, режущие лопасти, разбуривание прослоев породы, механическая скорость бурения.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-8-0-225-230

Бурение скважин является направленным разрушением горных пород, зависящее от многих факторов и снижение материальных затрат на этот процесс определяет актуальность задачи. Бурение скважин в горно-геологических условиях, одно из самых трудоемких и затратных процессов производства работ. Проводимые различные технико-технологические мероприятия по проводке скважин не всегда реализуют поставленные цели если не рассматривать вопрос комплексного подхода, то есть сочетание правильного выбранного инструмента, компоновки снаряда, вида и параметра

очистного агента, расчета оптимальных параметров режима бурения и т.д. Одним из путей интенсификации процесса разрушения пород является увеличение удельной энергии передаваемой горной породе инструментом. Процесс этот может осуществляться несколькими способами, в частности, за счет повышения удельных осевых нагрузок или увеличения скорости резания.

Сейчас принято считать, что в области совершенствования породоразрушающего инструмента основным направлением является развитие машиностроительных технологий и материалов и что

резервы его конструкционного совершенствования практически полностью исчерпаны. Однако анализ современных конструкций долот отечественного и зарубежного производства и результаты выполненных нами работ, позволяют заявить о создании новых конструкций буровых долот повышенной эффективности.

Для буровых долот режуще-скалывающего типа одним из ограничителей при их разработке является большое различие в скоростях резания у режущих элементов, расположенных у оси долота и на его периферии.

Так если при сооружении скважин на углеводородное сырье наиболее вос-

требуемым является долото диаметром 215 мм, то при частоте вращения 200 об/мин., скорости резания, определяемые по формуле

$$V_{рез} = \frac{\pi d n}{1000 \cdot 60}, \text{ м/с}$$

будут равны 0,3 м/с — у оси долота и 2,25 м/с — у периферийных режущих элементов.

При бурении скважин по породам VI–VIII категорий по буримости у режущих элементов из АТП (PDC) при скорости резания 2,25 м/с происходит катастрофический износ при их перегреве. Необходимо снижать частоту вращения до 70–90 об/мин., но при этом снижается и скорость бурения, ограниченная посадкой режущих элементов у оси долота на заднюю грань.

Исследованиями, выполненными в ЮРГПУ (НПИ) на кафедре НТиТ, установлено что при вращательном бурении крепких пород инструментами режуще-скалывающего типа, механическая скорость бурения $V_{мб}$ при постоянном значении осевой нагрузки $P_{ос}$ мало зависит от частоты вращения во всем диапазоне рабочих частот (от 90 об/мин, 155, 280 и 435 об/мин). Это означает, что на оси долота могут располагаться ярусы с различной частотой вращения. Этот вывод является основанием для разработки многоярусных долот [1, 3, 4].

Предлагается двухъярусное долото режуще-скалывающего типа с попутным или со встречным вращением ярусов Д-2ВВ конструкции авторов [2, 5, 8]. Применение долота позволяет увеличить механическую скорость бурения, предотвратить полностью или значительно уменьшить интенсивность искривления скважин, частично устранить кавернообразование, улучшить качество очистки забоя от шлама, снизить момент сопротивления и усилия подачи. Повышенная износостойкость режущих элементов до-

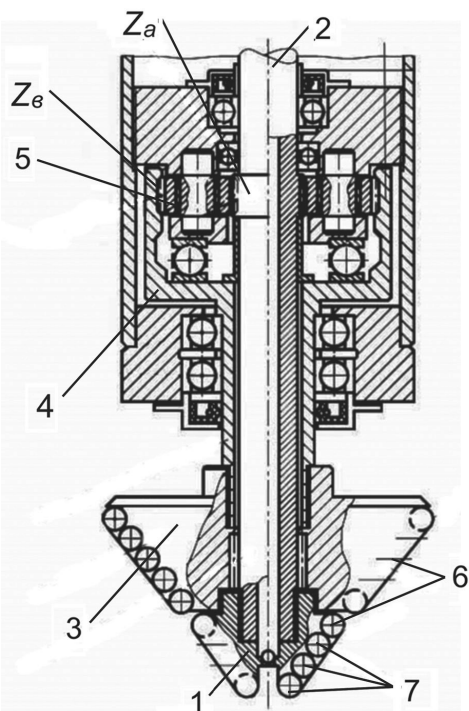


Рис. 1. Долото Д-2ВВ с редуктором: 1 — пилотный ярус; 2 — привод от забойного двигателя; 3 — скважинообразующий ярус; 4 — привод от планетарного редуктора; 5 — планетарный редуктор; 6 — режущие лопасти; 7 — режущие элементы; z_a и z_b — количество зубьев на центральном колесе и зубчатом венце планетарного редуктора соответственно

лота достигается за счет выравнивания скоростей резания на ярусах при их встречном вращении от забойного двигателя через планетарный редуктор.

Долото Д-2ВВ с редуктором, показанное на рис. 1, имеет форму усеченного конуса и состоит из двух ярусов: пилотного 1 с приводом 2 от забойного двигателя и скважинообразующего 3 с приводом 4 от планетарного редуктора 5. На каждом ярусе имеются режущие лопасти 6, состоящие из нескольких режущих элементов 7.

Режущие элементы из алмазно-твердосплавных пластин (АТП) образуют лопасти ярусов (рис. 2). Механическая скорость бурения многоярусного долота $V_{мб}$, мм/с, определяется возможной скоростью бурения пилотного яруса:

$$V_{мб} = S_n \cdot n_n = \frac{S_n}{T_n},$$

где S_n — подача пилотного яруса за один оборот, мм/об; n_n — частота вращения пилотного яруса, об/с; T_n — время одного оборота пилотного яруса, с.

За время одного оборота пилотного яруса T_n все долото совершает осевое перемещение S_n , а каждая лопасть скважинообразующего яруса за это же время проходит часть своего оборота, срезая стружку толщиной $h = S_n$, мм, с механической скоростью бурения $V_{мб}$.

Для полной обработки забоя скважины скважинообразующим ярусом T_n за время необходимо, чтобы число лопастей этого яруса определялось зависимостью:

$$z \geq \frac{\pi \cdot D}{\pi \cdot d},$$

где d — большой диаметр пилотного яруса, мм; D — большой диаметр скважинообразующего яруса, мм.

Каждая лопасть, состоящая из нескольких режущих элементов, на каком бы ярусе она ни находилась, в единицу времени проходит одинаковый путь резания и поэтому имеет одинаковую со

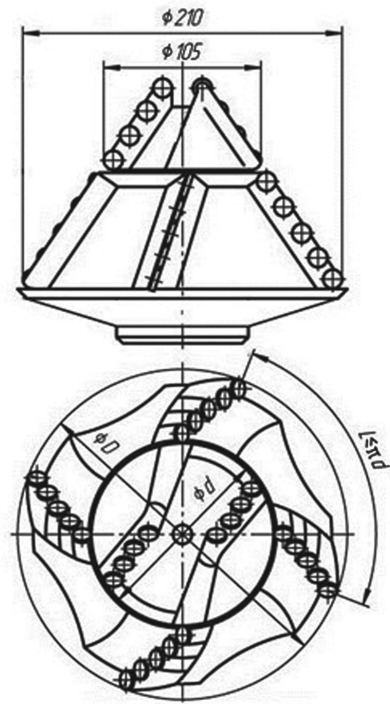


Рис. 2. Долото Д-2ВВ

всеми лопастями интенсивность изнашивания (долото становится равноизнашиваемым). Лопасти выполнены съемными [1, 6, 7].

Частота вращения для таких долот устанавливается, исходя из критической скорости резания, которая имеет максимальное значение на периферийных режущих элементах. Скорости резания на остальных линиях, более близких к оси вращения, ниже критических значений и убывают обратно пропорционально увеличению диаметров окружностей, на которых размещены режущие элементы.

Авторами выполнены исследования по определению зависимости критических скоростей резания от контактной прочности породы. Скорость резания породы на каждом ярусе не должна превышать критического значения данной скорости для конкретной породы, то есть $V_{рез} \leq V_{кр}$. В противном случае начинается катастрофический износ режущих

элементов долота. Принцип разделения долота на независимые в кинематическом отношении части позволяет решить еще две проблемы — снизить до минимума реактивный момент на долоте и повысить эффективность очистки забоя скважины. Это достигается вращением частей долота в противоположных направлениях.

Работа Д-2ВВ на забое осуществляется следующим образом. Жидкость от промывочного насоса, двигаясь через буровые трубы, забойный двигатель, планетарный редуктор и режущее долото, попадает на забой скважины, охлаждает вращающееся долото и транспортирует продукты разрушения на поверхность. При этом вращение долота осуществляется за счет забойного двигателя через планетарный редуктор с передаточным числом $i_{ab} = \frac{Z_b}{Z_a}$.

Наличие планетарного механизма, расположенного выше долота, позволяет вращать ярусы в противоположные стороны с частотой, обратно пропорциональной их диаметрам. На данную конструкцию долота получены патенты [5, 8].

Кинематическая схема планетарного редуктора позволяет долоту выполнять двойное вращательное действие (движение верхней части долота влево, а нижней — вправо). На забое скважины при ее промывке создается зона повышенного турбулентного движения, что способствует более быстрой и качественной очистке от шлама, что, в конечном счете, способствует увеличению механической скорости бурения. Встречное вращение ярусов позволяет уравновесить реактивный момент, действующий на долото со стороны забоя скважин, что позволяет уменьшить ее искривление. Скорости резания на пилотном и скважинообразующем ярусах равны.

Применение Д-2ВВ при сооружении скважин позволяет добиться снижения

момента сопротивления вращению долота и усилию подачи, что приводит к повышению скорости бурения. Повышается эффективность использования дорогостоящего армирующего материала, так как износ внутренних режущих элементов приближается к износу наружных. При этом сокращается количество режущих элементов, находящихся в контакте с забоем и в целом на долоте, что позволяет повысить стойкость долота. Применение данного долота при сооружении скважин позволит буровым компаниям значительно повысить экономическую эффективность проведения всего комплекса буровых работ.

Каково будущее бурового породоразрушающего инструмента (ПРИ)? Исследования продолжатся в области полномасштабных лабораторных экспериментов, мониторинга внутрискважинных данных, исследования с целью оптимизации конструкции ПРИ, процесса бурения и технологий новых материалов. Конечной целью создания любого ПРИ является применение наилучшего режущего вооружения и оптимального режущего действия для обеспечения бурения высокоэкономичных скважин. Технология новых породоразрушающих материалов, таких как АТП будут и впредь играть важную роль в комплектации режущей части нового ПРИ. Новые высокотемпературные процессы в условиях высоких давлений повысят эффективность процесса изготовления АТП, что будет способствовать снижению расходов на буровые работы и расширению области применения ПРИ, армированного алмазными композитными материалами [9–12].

Если рассматривать в целом как будет выглядеть буровой ПРИ в ближайшем будущем, то нам представляется, он будет многофункциональным прежде всего в плане оснащения режущей части применительно к категории горных пород по буримости и обязательно под-

вержен внешнему воздействию различными физическими и другими полями с целью повышения его прочности. При этом конструктивно он будет претерпевать изменения, все режущие элементы будут съемными, легко заменяемыми, а гидравлическая система будет усовершенствоваться в сторону ее оптимизации. При таком подходе будет увели-

ваться механическая скорость бурения скважин, уменьшится вибрация на забое, улучшится очистка ствола скважины, будет достигаться более плавная траектория бурения, уменьшится аварийность, будет осуществляться более плавная передача нагрузки на ПРИ и, как результат, уменьшится стоимость одного метра бурения горных пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буренков Н. Н., Третьяк А. А., Чихоткин А. В. Режущая часть долота PDC: оптимизация геометрических параметров // Oil and Gas Journal. PennWell. — 2013. — № 5. — С. 56–58.
2. Третьяк А. Я., Литкевич Ю. Ф., Асеева А. Е., Третьяк А. А. и др. Стабилизирующее двухъярусное долото режущего типа. Патент РФ № 2445433. 20.03.2012.
3. Третьяк А. Я., Литкевич Ю. Ф., Гроссу А. Н. Исследования крутящего момента и скорости бурения прослоев пород и руды долотом с гидромониторным приводом // Разведка и охрана недр. — 2015. — № 5. — С. 58–62.
4. Третьяк А. А., Гроссу А. Н., Борисов К. А. Конструкция буровых коронок, армированных АТП, с учетом схемы разрушения забоя // Строительство нефтяных и газовых скважин на море и на суше. — 2015. — № 6. — С. 9–12.
5. Третьяк А. Я., Чихоткин Ю. Ф., Литкевич Ю. Ф., Асеева А. Е. Многоярусное долото режущего типа. Патент РФ № 2310732. 20.11.2007.
6. Третьяк А. А., Савенок О. В., Швец В. В. Буровые коронки, армированные алмазно-твердосплавными пластинами. Монография. — Новочеркасск: ИД «Политехник», 2015.
7. Третьяк А. А. Технология бурения скважин коронками, армированными алмазно-твердосплавными пластинами // Разведка и охрана недр. — 2011. — № 12. — С. 63.
8. Третьяк А. А., Литкевич Ю. Ф., Савенок О. В., Туровский И. Г. Стабилизирующая кольцевая буровая коронка. Патент РФ № 2577351. 26.01.2015.
9. Langeveld C. J. PDC Bit Dynamics // IADC/SPE Drilling Conference. — New Orleans, Louisiana, USA, February 18–21, 2011. — Pp. 23–28.
10. Brett J. F., Warren T. M., Behr S. M. Bit Whirl: A New Theory of PDC Bit Failure // 64th SPE Annual Technical Conference and Exhibition. — San Antonio, Texas, USA, October 8–11, 2012. — Pp. 46–62.
11. Seweryn A., Lukaszewicz A. Verification of brittle fracture criterion for elements with V-shape notches // Engineering fracture mechanics. — 2002. — V. 69. — № 13. — Pp. 1487–1510.
12. Adams M., Amadei B., Argon A. S. Drilling and Excavation Technologies for the Future. — Washington, D.C.: The National Academies, 2014. — Pp. 176–188. **ГАЗ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Третьяк Александр Яковлевич¹ — доктор технических наук, профессор, академик РАН, зав. кафедрой, e-mail: 13050465@mail.ru,

Попов Виктор Владимирович¹ — доктор технических наук, профессор,

Гроссу Анна Николаевна¹ — старший преподаватель,

Борисов Константин Андреевич¹ — ассистент,

¹ Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова.

A.Ya. Tret'yak, V.V. Popov, A.N. Grossu, K.A. Borisov
**INNOVATIVE APPROACHES TO DESIGNING
HIGHLY EFFICIENT ROCK-BREAKING TOOL**

The article indicated by innovative approaches to the design of highly efficient rock cutting tool. Suggested two-level bit, consisting of two layers: a pilot driven downhole motor and doing well, driven by a planetary gear unit. At each level is equipped with cutting blades, reinforced diamond carbide inserts. The calculation of the number of blades. The authors carried out studies to determine the dependence of the critical cutting speed of the contact strength of the rock. Kinematic scheme of planetary gearbox allows the bit to perform a double rotational action (movement of the upper part of the drill bit to the left and bottom — right, thus increasing the rate of penetration, reduced curvature of the borehole, increase durability bit. This paper proposes a forecast technology of rock cutting tool. Developed a two-tier chisel is an innovative approach to the design of highly efficient rock cutting tool, protected by a patent and can be implemented in the construction of wells for hydrocarbons.

Key words: rock cutting tools, polycrystalline diamond compact, two-level bit, planetary gearbox, cutting blades, drilling of interlayers rocks, mechanical speed of drilling.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-8-0-225-230

AUTHORS

Tret'yak A.Ya.¹, Doktor of Technical Sciences, Professor,
Academician of Russian Academy of Natural Sciences,
Head of Chair, e-mail: 13050465@mail.ru,

Popov V.V.¹, Doktor of Technical Sciences, Professor,

Grossu A.N.¹, Senior Lecturer,

Borisov K.A.¹, Assistant,

¹ M.I. Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),
346428, Novocherkassk, Russia.

REFERENCES

1. Burenkov N.N., Tret'yak A.A., Chikhotkin A.V. *Oil and Gas Journal. PennWell*. 2013, no 5, pp. 56–58.
2. Tret'yak A. Ya., Litkevich Yu. F., Aseeva A. E., Tret'yak A. A. *Patent RU 2445433*. 20.03.2012.
3. Tret'yak A. Ya., Litkevich Yu. F., Grossu A. N. *Razvedka i okhrana nedr*. 2015, no 5, pp. 58–62.
4. Tret'yak A. A., Grossu A. N., Borisov K. A. *Stroitel'stvo neftnyanykh i gazovykh skvazhin na more i na sushe*. 2015, no 6, pp. 9–12.
5. Tret'yak A. Ya., Chikhotkin Yu. F., Litkevich Yu. F., Aseeva A. E. *Patent RU 2310732*. 20.11.2007.
6. Tret'yak A. A., Savenok O. V., Shvets V. V. *Burovye koronki, armirovannye almazno-tverdospplavnymi plastinami*. Monografiya (Drill bits, reinforced with diamond-carbide inserts. Monograph), Novo-cherkassk, ID «Politekhnika», 2015.
7. Tret'yak A. A. *Razvedka i okhrana nedr*. 2011, no 12, pp. 63.
8. Tret'yak A. A., Litkevich Yu. F., Savenok O. V., Turovskiy I. G. *Patent RU 2577351*. 26.01.2015.
9. Langeveld C. J. PDC Bit Dynamics. *IADC/SPE Drilling Conference*. New Orleans, Louisiana, USA, February 18–21, 2011, pp. 23–28.
10. Brett J. F., Warren T. M., Behr S. M. Bit Whirl: A New Theory of PDC Bit Failure. *64th SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. San Antonio, Texas, USA, October 8–11, 2012, pp. 46–62.
11. Seweryn A., Lukaszewicz A. Verification of brittle fracture criterion for elements with V-shape notches. *Engineering fracture mechanics*. 2002. V. 69, no 13, pp. 1487–1510.
12. Adams M., Amadei B., Argon A. S. *Drilling and Excavation Technologies for the Future*. Washington, D.C.: The National Academies, 2014, pp. 176–188.