



ПЛАНЕТАРНЫЕ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИЕ ОРГАНЫ И ПРОХОДКА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН

В.Л. СКРИПКА¹, Л.Х. МИНЯЗЕВА^{2,*}

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина»
65, корп. 1, просп. Ленинский, г. Москва 119991, Россия

² ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»
5, стр. 4, ул. 2-я Бауманская, г. Москва 105005, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье рассмотрен один из вариантов оригинального планетарного бурового органа, в котором используются множественные ударные воздействия на разрушаемый массив. Это позволяет совершенствовать способы проходки наклонных и горизонтальных скважин за счет существенного снижения необходимого усилия подачи и уменьшения энергоемкости разрушения забоя.

Цель. Обоснование методов и средств бурения, позволяющих резко уменьшать радиусы изменения направления бурения при проходке наклонных и горизонтальных скважин.

Материалы и методы. Основным методом в работе является анализ ряда патентных источников и экспериментальной проверки их реализации в лабораторных условиях.

Результаты. Основным преимуществом проанализированных буровых органов является возможность разрушения породы множественными направленными под углом и поверхности забоя ударными импульсами. Это позволяет существенно снизить энергоемкость разрушения и резко уменьшить необходимое усилие подачи в осевом направлении, что дает возможность увеличить диаметр скважин. Уменьшение осевой протяженности бурового органа обеспечивает уменьшение радиусов изменения направления бурения, чем создает предпосылки для усовершенствования технологии проходки, в частности бурения горизонтальных скважин из вертикальных «колодцев».

Заключение. Использование планетарных породоразрушающих органов, реализующих квазидинамическое разрушение множественными ударными импульсами массива путем мелкого скоса породы с автоматически формируемой волнистой поверхности забоя, создает предпосылки для совершенствования технологии бурения наклонных и горизонтальных скважин.

Ключевые слова: буровые динамические органы, ударное разрушение, горизонтальные скважины, мелкий скос, горизонтальные скважины.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Скрипка В.Л., Минязева Л.Х. Планетарные породоразрушающие органы и проходка горизонтальных скважин. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2022;64(5):86—93. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-5-86-93>

Статья поступила в редакцию 22.08.2022

Принята к публикации 12.12.2022

Опубликована 19.12.2022

* Автор, ответственный за переписку

PLANETARY ROCK-BREAKING BODIES AND HORIZONTAL DRILLING

VITALY L. SKRIPKA¹, LOUISA H. MINYAZEVA^{2,*}

¹ National University of Oil and Gas “Gubkin University”
65, bld. 1, ave. Leninsky, Moscow 119991, Russia

² Bauman Moscow State Technical University
5, bld.4, 2nd Bauman str., Moscow 105005, Russia

ABSTRACT

Background. The article considers one of the variants of the original planetary drilling organ, in which used multiple impacts on the mass to be destroyed. This makes it possible to improve the methods of sinking inclined and horizontal wells by significantly reducing the required feed force and reducing the energy intensity of bottom hole destruction

Aim. To investigate drilling methods and tools, which can be used to significantly reduce the radius of changes in drilling direction when creating inclined and horizontal wellbores.

Materials and methods. An analysis of patent information and its experimental verification under laboratory conditions.

Results. The main advantage of the analyzed drilling bodies is associated with their rock-breaking ability due to multiple shock pulses directed at an angle to the face surface. This allows the energy intensity of fracture and the required feed force in the axial direction to be significantly reduced, thus providing for larger wellbore diameters. A reduction in the axial length of the drilling body leads to a decrease in the radius of changes in drilling direction, thereby contributing to improved technologies of wellbore drilling, in particular, when creating horizontal wellbores.

Conclusion. Planetary rock-breaking bodies implement quasi-dynamic rock destruction by multiple shock pulses and spalling off rock pieces from an automatically formed wavy face surface. On this basis, modern technologies of drilling inclined and horizontal wellbores can be improved.

Keywords: dynamic drilling bodies, pulse destruction, horizontal wellbores, spalling, horizontal wellbores

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Skripka V.L., Minyazeva L.H. Planetary rock-breaking bodies and horizontal drilling. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(5):86—93. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-5-86-93>

Manuscript received 22 August 2022

Accepted 12 December 2022

Published 19 December 2022

* Corresponding author

Каждый из применяемых в настоящее время традиционных механических способов бурения (резание, шарошечное и ударное разрушение) во многом исчерпал свои возможности к радикальному улучшению технических характеристик породоразрушающего инструмента. Вместе с тем именно характеристики породоразрушающего инструмента во многом определяют функциональные и эксплуатационные возможности конкретной технологии проходки скважин [1, 9]. Поэтому буровые инструменты, реализующие

нестандартные конструктивные решения механического разрушения забоя, могут создавать предпосылки для новых технологий бурения скважин.

В настоящей статье рассмотрены особенности и перспективы применения для проходки горизонтальных скважин динамического планетарного породоразрушающего органа, реализующего метод мелкого скола с поверхности забоя множественными ударными импульсами.

Попытки реализации метода планетарного движения породоразрушающих режущих

элементов были предприняты в середине XX века. Сущность метода заключается в «быстром» вращении породоразрушающих элементов вокруг оси, перпендикулярной оси скважины, и одновременном «медленном» вращении вокруг оси скважины. При этом автоматически образуется волнистая поверхность забоя, на которой за счет переносного движения срезаются «миницелики» («гребешки»), остающиеся на этой поверхности, т.е. осуществляется квазидинамическое разрушение забоя (рис. 1).

Преимуществом таких органов являются пониженная энергоемкость разрушения и резкое снижение необходимого осевого усилия подачи на забой. Однако распространения эти органы не получили, так как им были присущи следующие недостатки:

1) наличие забурника, накладывающее на весь орган ограничения, присущие способу резания пород, а также невозможность обработки забоя в направлении, перпендикулярном оси вращения забурника;

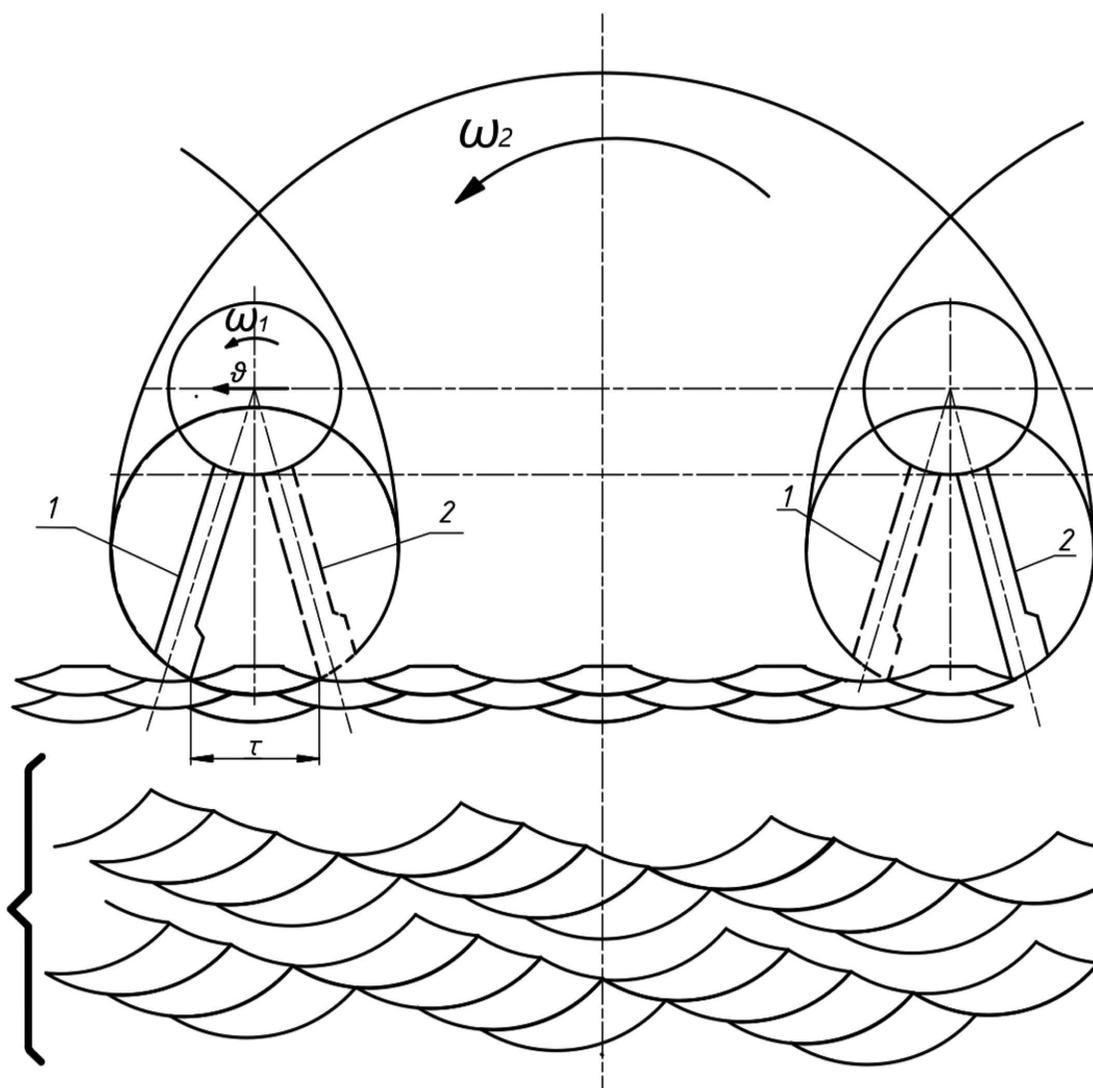


Рис. 1. Схема получения волнистой поверхности забоя и скола пород планетарным инструментом: 1 — породоразрушающий элемент в начале взаимодействия с породой; 2 — породоразрушающий элемент в конце взаимодействия с породой; τ — время взаимодействия с породой $\tau \approx (10...12)\% \cdot T$, где T — время одного полного оборота долота $\omega_2 \approx (7...8) \cdot \omega_1$

Fig. 1. Scheme of obtaining a wavy bottomhole surface and rock cleavage with a planetary tool: 1 — rock-destroying element at the beginning of interaction with the rock; 2 — rock-destroying element at the end of interaction with the rock; τ — the time of interaction with the rock $\tau \approx (10...12)\% \cdot T$, T — time of one full revolution of the bit $\omega_2 \approx (7...8) \cdot \omega_1$

2) ограничения на скорость взаимодействия породоразрушающих элементов с поверхностью забоя, так как в противном случае множественные силовые импульсы, передаваемые на трансмиссию, резко снижали долговечность последней;

3) относительно небольшая одновременно разрушаемая поверхность, что ограничивало производительность.

Материалы и методы

Ряд оригинальных технических решений [3—5, 8] и анализ механизма разрушения [12] позволил создать экспериментальный образец беззабурникового, планетарного породоразрушающего инструмента с креплением зубков на подпружиненных ударных молотках, принцип действия которого представлен на рисунке 2, а его общий вид приведен на рисунке 3. Особенностью планетарного органа является то, что процесс разрушения породы осуществляется инерционными силами торможения ударных молотков, а потерянная ими кинетическая энергия в зоне разрушения восстанавливается, что демонстрирует рисунок 2.

Планетарные органы могут приводиться в движение как от механической передачи, так и выполняться со встроенными электро-гидро-пневмо- и другими двигателями. Планетарный инструмент успешно опробован в производственных условиях.

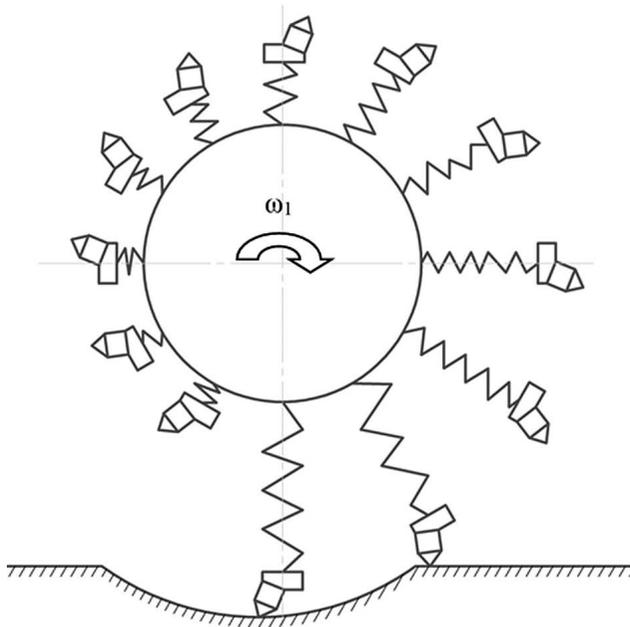


Рис. 2. Схема взаимодействия планетарного органа с ударными молотками с разрушаемой породой
Fig. 2. Scheme of the interaction of the planetary organ with impact hammers with destructible rock

Его конструкция базируется на многолетнем положительном опыте эксплуатации проходческих машин типа ППГ, предназначенных для проведения на угольных шахтах восстающих горных выработок диаметром 800 мм [7]. Следует отметить, что попытки создания планетарных породоразрушающих органов для бурения неоднократно предпринимались на основе использования для «резания» забоя алмазного инструмента [6]. Однако такие органы не нашли широкого применения из-за очень высоких требований к «точности» регулирования подачи инструмента на забой.

Предлагаемый вариант планетарного органа был апробирован в стендовых условиях. Экспериментальным образцом было проведено бурение трех «отверстий» диаметром 340 мм в блоке песчаника ($\delta_{сжк} = 80$ МПа) размером $\sim 2,0 \times 1,4 \times 1,4$ м. Необходимое усилие подачи при этом не превышало 1,5 кН, установленная мощность привода стенда — 18 кВт, время бурения отверстия одного «отверстия» составило ~ 2 мин.

Результаты

Качественный анализ сделанных предложений и апробация экспериментального образца показали, что пиковое значение породоразрушающей силы может превосходить центробежную в 12—15 раз, чего достаточно для разрушения поверхности забоя. Величина скорости породоразрушающих «молотков» при этом ограничивается только

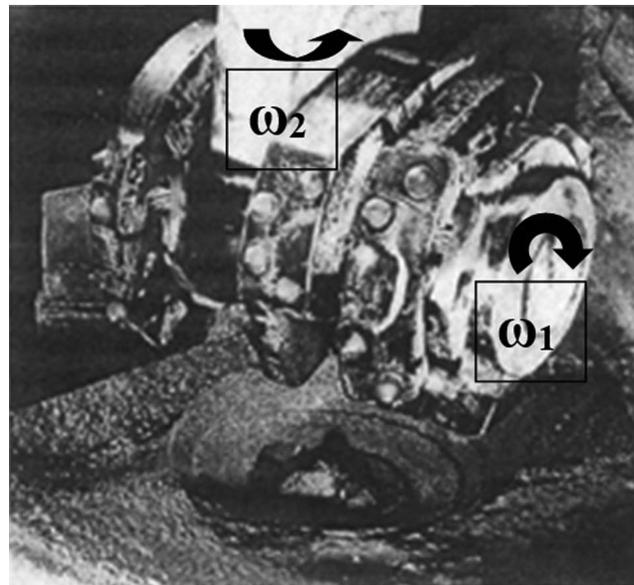


Рис. 3. Экспериментальный образец динамического плана породоразрушающего органа
Fig. 3. Experimental sample of the dynamic plan of the rock cutting tool

ударной стойкостью породоразрушающих элементов. В настоящее время имеется ряд твердых сплавов, которые способны выдержать без разрушения возникающие ударные нагрузки при скоростях взаимодействия до 15 м/с. При этом энергия удара одного «молотка» при взаимодействии с породой может составлять до 300 Дж, время взаимодействия «молотка» с породой — миллисекунды, частота ударов по линии одной коронки — до 30 Гц, а их шаг — 15—20 мм, что согласуется с параметрами, необходимыми для эффективного разрушения самых разнообразных пород и исключения нежелательных эффектов, связанных с дополнительными энергетическими затратами при скоростном нагружении. Необходимая величина усилия подачи в планетарном органе не превышает величины центробежной силы, действующей на все ударные молотки, находящиеся в зоне разрушения.

К потенциальным преимуществам планетарного разрушающего органа в сравнении с традиционными можно отнести:

- 1) значительно меньшая энергоемкость разрушения (в 2—2,5 раза);
- 2) многократное уменьшение усилия подачи на забой (~ 10 раз);
- 3) отсутствие забурника, т.к. рациональное расположение рядов «молотков» позволяет разрушать «целик» в центре забоя;
- 4) применение в существующих буровых установках без их существенной переделки;
- 5) реализация более современных технологий бурения.

Указанные преимущества во многом достигаются за счет перехода работы породоразрушающих элементов из квазистатического режима разрушения забоя в импульсный.

В настоящее время одной из прогрессивных скважинных технологий разведки и добычи полезных ископаемых является проведение наклонных горизонтальных и разветвленных скважин в продуктивных зонах. Поэтому любые технические новшества, позволяющие удешевить и упростить, а в некоторых случаях качественно улучшить существующие технологии проведения горизонтальных скважин, представляются целесообразными. Использование в указанных технологиях предлагаемого бурового инструмента позволит резко уменьшить длину бурового снаряда и увеличить диаметр скважины в продуктивной зоне, реализовать в некоторых случаях многоручевое горизонтальное бурение из одной вертикальной скважины увеличенного диаметра. Все эти мероприятия позволят снизить себестоимость бурения и реализовать

новые, а также улучшить старые технологии по более полному извлечению полезных ископаемых.

Вследствие того что при бурении динамическим планетарным органом осевое усилие подачи и необходимый вращающий момент значительно меньше, чем при использовании любых других механических буровых инструментов, использование этого органа позволяет создать малогабаритный вращающе-подающий механизм (ВПМ), который может располагаться в скважине и обеспечивать все основные функциональные процессы при бурении. Это позволит упростить технологию проведения горизонтальных скважин, увеличить их диаметр и протяженность и уменьшить нагрузку на буровой став [10].

Наиболее рациональной для выполнения указанных целей является схема веерного бурения горизонтальных скважин из вертикальных скважин увеличенного диаметра («колодца»). Как сам «колодец», так и горизонтальные «лучевые» скважины могут проводиться в породах планетарными органами. Однако основным вопросом проведения горизонтальных скважин по предложенной схеме является создание надежного ВПМ, который располагался бы в «колодце» и обеспечивал необходимые технологические операции. На рисунках 4 и 5 представлены два из многих возможных вариантов реализации ВПМ для бурения горизонтальных скважин с помощью планетарных органов.

Наиболее простым является вариант, приведенный на рисунке 4, с приводом органа с помощью гибкого вала. В этом случае передача необходимой для работы органа мощности в 10—15 кВт при частоте вращения гибкого вала несколько сотен оборотов в минуту не представляет технических проблем. Учитывая также, что необходимое осевое усилие подачи в этом случае составляет менее 2 кН, проведение горизонтальной скважины в продуктивном слое представляется возможным. Однако при использовании гибкого вала имеются серьезные технические трудности по транспортировке отбитой горной массы, подаче бурового раствора или воздуха к забою, предотвращению «провисания» става и его волочению по стенке скважины и т.п. Поэтому длина горизонтальной скважины в рассматриваемом случае будет составлять всего несколько метров и эффективность такого бурения будет ограничена. Вместе с тем простота реализации, малое вспомогательное время, сохранение инструмента и т.д. делают целесообразным использование этого варианта.

Вариант реализации ВПМ с погружным контейнером представлен на рисунке 5. В этом случае ВПМ

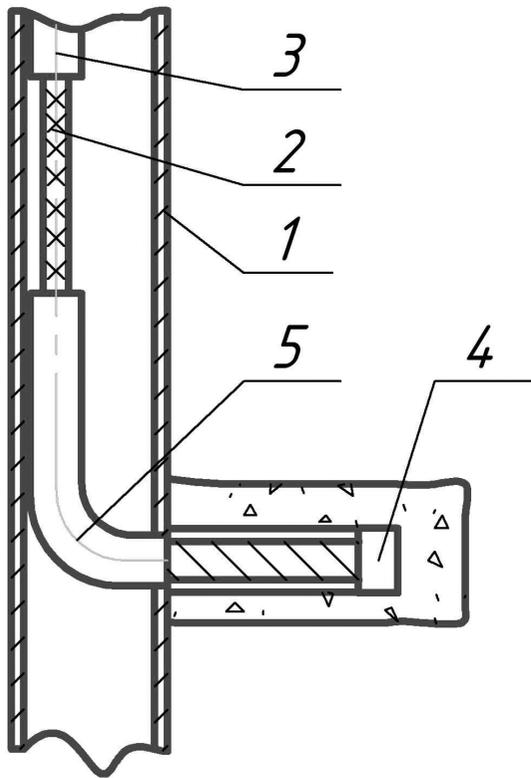


Рис. 4. Один из возможных вариантов реализации ВПМ: 1 — скважина, 2 — гибкий вал, 3 — приводной вал, 4 — рабочий орган, 5 — направляющее устройство

Fig. 4. One of the possible implementation options rotating-feeding mechanism: 1 — well, 2 — flexible shaft, 3 — drive shaft, 4 — working body, 5 — guiding device

имеет гидравлический привод, получающий рабочую жидкость, и управление с поверхности. Короткие буровые штанги подаются к ВПМ в контейнере специальной конструкции и последовательно наращивают буровой став. Контейнер при этом может использоваться как бункер для приема отбитой горной массы. Основным недостатком данной схемы является значительное вспомогательное время при наращивании штанг. Для уменьшения влияния этого недостатка возможно использование ВПМ с манипулятором. В этом случае длина штанг может быть увеличена в 1,5—1,7 раза, что сократит, соответственно, вспомогательное время. Штанги могут выполняться в виде шнеков, перфорированными, с «фонарями» и т.д. Это снимает большинство недостатков технологического применения гибкого вала. Поэтому длина горизонтальных скважин во втором и третьем вариантах может быть увеличена на порядок в сравнении с вариантом применения гибкого вала. Учитывая, что диаметр горизонтальных скважин в предлагаемых вариантах бурения может быть

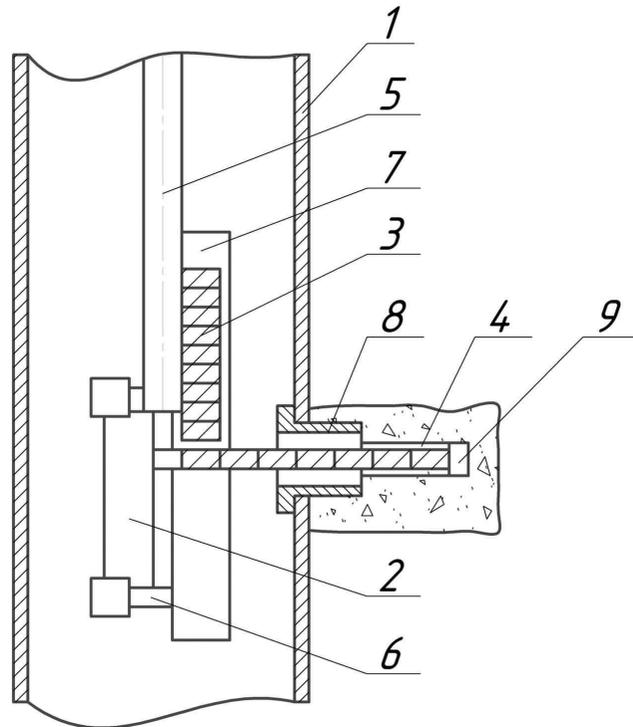


Рис. 5. Вариант реализации ВПМ с погружным контейнером: 1 — скважина, 2 — вращательно подающий механизм, 3 — контейнер, 4 — электродвигатель бурового става, 5 — став труб, 6 — механизм закрепления, 7 — короб, 8 — кондуктор, 9 — рабочий орган

Fig. 5. A variant of the implementation of the rotating-feeding mechanism with a submersible container: 1 — well, 2 — rotary feeder, 3 — container, 4 — drilling string motor, 5 — pipe string, 6 — fixing mechanism, 7 — box, 8 — conductor, 9 — working body

увеличен и из одного «колодца» возможно бурить несколько горизонтальных скважин в различных направлениях, то отдача добываемого продукта может быть существенно повышена.

Обсуждение результатов

Ударное разрушение породы, как правило, имеет значительно меньшую энергоёмкость в сравнении с другими механическими способами [2, 11]. Поэтому в случае использования погружных винтовых или турбодвигателей будет требоваться их уменьшенная мощность, а следовательно, и уменьшенные габариты в сравнении, например, с шарочным бурением.

Значительное снижение необходимого осевого усилия для разрушения забоя повысит долговечность опор качения инструмента и создаст предпосылки для более «гибкого» управления изменением направления бурения. Кинематика движения

породоразрушающего элемента при его выходе в свободное пространство после его взаимодействия с породой обеспечивает «квазишарообразную» форму забоя, плавно сопрягаемую со стенкой скважины, что способствует повышению ее устойчивости. Таким образом, планетарный динамический орган может расширить потенциальные возможности технологии специального бурения.

Заключение

Основными факторами эффективности бурения горизонтальных скважин с помощью плане-

тарных органов является кратное сокращение общей длины скважин и удешевление их проведения в сравнении с наклонным бурением, а также увеличение их диаметра в продуктивной зоне. Использование планетарных породоразрушающих органов, реализующих квазидинамическое разрушение множественными ударными импульсами массива путем мелкого скола породы с автоматически формируемой волнистой поверхности забоя, создает предпосылки для совершенствования технологии бурения наклонных и горизонтальных скважин.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Архангельский А.С., Чугунихин С.И.* Проходческий комбайн Гуменника. М.: Углетехиздат, 1955. 57 с.
2. *Арцимович Г.В.* Механо-физические основы создания породоразрушающего бурового инструмента. Новосибирск: Наука, 1985. 226 с.
3. А.с. 1756474 СССР, МПК E02F5/18. Устройство для бурения скважин / Г.С. Киракосьян, В.Л. Скрипка, В.П. Кузнецов (СССР). — № 4844806; заявл. 29.06.90; опубл. 23.08.92. Бюл. № 31. 2 с.
4. А.с. 1756475 СССР, МПК E02F5/18. Способ бурения скважин / В.С. Ситов, В.Л. Скрипка, В.Ф. Шубочкина (СССР). — № 4844807; заявл. 29.06.90; опубл. 23.08.92. Бюл. № 31. 2 с.
5. А.с. 1756476 СССР, МПК E02F5/18. Устройство для бурения скважин / Б.М. Качалин, В.П. Кузнецов, В.С. Ситов, В.Л. Скрипка (СССР). — № 4844808; заявл. 29.06.90; опубл. 23.08.92. Бюл. № 31. 2 с.
6. *Давиденко А.Н., Кожевников А.А., Хоменко В.Л., Судаков А.К.* Планетарная конструкция долот безударного действия // Горное оборудование и электромеханика. 2008. № 6. С. 49—52.
7. *Карташов Ю.М.* Новый планетарный исполнительный орган проходного комбайна // Горное оборудование и электромеханика. 2008. № 10. С. 33—37.
8. Пат. 2081291 Российская Федерация, МПК E21B10/00, E21B3/00. Устройство для бурения скважин / Скрипка В.Л., Скрипка Р.В.; заявитель и патентообладатель Скрипка В.Л., Скрипка Р.В. — № 93057151/03; заявл. 23.12.93; опубл. 10.06.97. Бюл. № 16. 3 с.
9. *Симонянц Л.Е.* Разрушение горных пород и рациональная характеристика двигателей для бурения. М.: Недра, 1966. 227 с.
10. *Юнин Е.К., Хегай В.К.* Динамика глубокого бурения. М.: Недра, 2004. 286 с.
11. *Abu Bakar, M.Z., Butt, I.A., Majeed, Y.* Penetration Rate and Specific Energy Prediction of Rotary-Percussive Drills Using Drill Cuttings and Engineering Properties of Selected Rock Units // Journal of Mining Science. 2018. V. 54. No. 2. P. 270—284.
12. *Liu W., Zhu X., Li B.* The rock breaking mechanism analysis of rotary percussive cutting by single PDC cutter // Arabian Journal of Geosciences. 2018. V. 11. № 9. P. 1—11.

REFERENCES

1. Arkhangelsky A.S., Chugunikhin S.I. Heading machine Gumennik. Moscow: Ugletekhizdat, 1955. 57 p.
2. Artsimovich G.V. Mechano-physical foundations of creating rock-breaking drilling tools. Novosibirsk: Nauka, 1985. 226 p.
3. E.n. 1756474 USSR, E02F5 / 18. A device for drilling wells / G.S. Kirakosyan, V.L. Violin, V.P. Kuznetsov (USSR). — No. 4844806; declared 06/29/90; publ. 08/23/92. Bul. No. 31. 2 p.
4. E.n. 1756475 USSR, E02F5 / 18. Method of drilling wells / V.S. Sitov, V.L. Violin, V.F. Shubochkin (USSR). — No. 4844807; declared 06/29/90; publ. 08/23/92. Bul. No. 31. 2 p.
5. E.n. 1756476 USSR, E02F5 / 18. A device for drilling wells / B.M. Kachalin, V.P. Kuznetsov, V.S. Sitov, V.L. Violin (USSR). — No. 4844808; declared 06/29/90; publ. 08/23/92. Bul. No. 31. 2 p.
6. *Davidenko A.N., Kozhevnikov A.A., Khomenko V.L., Sudakov A.K.* Planetary design of bumpless bits // Mining equipment and electromechanics. 2008. No. 6. P. 49—52.
7. *Kartashov Yu.M.* New planetary executive body of the through-harvester // Mining equipment and electromechanics. 2008. No. 10. P. 33—37.
8. Pat. 2081291 Russian Federation, E21B10 / 00, E21B3 / 00. Well drilling device / Skripka V.L., Skripka R.V.; applicant and patentee Skripka V.L., Skripka R.V. — No. 93057151/03; declared 12/23/93; publ. 10.06.97. Bul. No. 16. 3 p.
9. *Simonyants L.Ye.* Destruction of rocks and rational characteristics of engines for drilling. Moscow: Nedra, 1966. 227 p.
10. *Yunin E.K., Khagai V.K.* Deep drilling dynamics. Moscow: Nedra, 2004. 286 p.
11. *Abu Bakar M.Z., Butt I.A., Majeed Y.* Penetration Rate and Specific Energy Prediction of

Rotary-Percussive Drills Using Drill Cuttings and Engineering Properties of Selected Rock Units // Journal of Mining Science. 2018. V. 54. No. 2. P. 270—284.

12. Liu W., Zhu X., Li B. The rock breaking mechanism analysis of rotary percussive cutting by single PDC cutter // Arabian Journal of Geosciences. 2018. V. 11. No. 9. P. 1—11.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Скрипка В.Л. — работая в Институте горного дела им. А.А. Скочинского и занимаясь конструированием проходческих машин бурового типа, собрал материал для статьи, разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Миняева Л.Х. — разработала концепцию статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Vitaly L. Skripka — working at the A.A. Skochinsky Institute of Mining and engaged in the design of drilling machines, I collected material for the article, developed the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Louisa H. Minyazeva — developed the article concept, prepared the text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Скрипка Виталий Леонидович — кандидат технических наук, доцент кафедры стандартизации, сертификации и управления качеством производства нефтегазового оборудования ФГБОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина». 65, корп. 1, просп. Ленинский, г. Москва 119991, Россия
e-mail: vit.skripcka@yandex.ru
SPIN-код: 4776-8895
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8102-6637>

Vitaly L. Skripka — Cand. of Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Standardization, Certification and Quality Management of Oil and Gas Equipment Production, National University of Oil and Gas “Gubkin University”. 65, bld. 1, ave. Leninsky, Moscow 119991, Russia
e-mail: vit.skripcka@yandex.ru
SPIN-code: 4776-8895
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8102-6637>

Миняева Луиза Халисовна* — старший преподаватель кафедры «Метрология и взаимозаменяемость» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана». 5, стр. 4, ул. 2-я Бауманская, г. Москва 105005, Россия
e-mail: miluiza@yandex.ru
тел.: +7 (965) 238 -37-77
SPIN-код: 3254-5827
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9415-0867>

Louisa H. Minyazeva* — Senior Lecturer of the Department “Metrology and Interchangeability” the Bauman Moscow State Technical University. 5, bld.4, 2nd Bauman str., Moscow 105005, Russia
e-mail: miluiza@yandex.ru
тел.: +7 (965) 238-37-77
SPIN-code: 3254-5827
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9415-0867>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author