

КОНЦЕПЦИЯ СНАРЯДА ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Н.А. Пелипенко¹, И.М. Игнатенко¹, И.С. Процук², Р.Р. Бакланов¹

¹ Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Белгород, Россия, e-mail: pelipenkona@mail.ru

² ООО «ИГИИС», Москва, Россия

Аннотация: Рассмотрена технология бурения скважин большого диаметра двойного назначения для выполнения спасательных, строительных работ, вентиляционных и технологических скважин. Предложены комбинированные способы очистки забоя с разрушением керна, представляющие собой одновременное использование сжатого воздуха и промывочной жидкости. Турбулентный процесс в забое, образованный сжатым воздухом и промывочной жидкостью, способствует интенсивной очистке забоя и повышению скорости проходки. Разработана геометрия бурения скважин большого диаметра с направляющей скважиной меньшего диаметра и по сплошному забую. Представлено решение по зачистке стенок скважины большого диаметра. Технология последовательного разбуривания скважин имеет важное преимущество, заключающееся в том, что все работы по бурению скважин большого диаметра можно выполнить одним станком среднего класса. При условии полной унификации узлов, инструментов и сопряжений можно значительно снизить стоимость буровых снарядов, что в свою очередь приведет к снижению затрат на буровые работы. Колонковое бурение скважины большого диаметра связано с трудностями извлечения тяжелого керна, разрушение которого на крупные фракции может привести к необходимости повторного разбуривания. Обустройство скважины большого диаметра для спасения людей является отдельной задачей, решаемой параллельно с ведением буровых работ. Предложен новый инструмент-индентор с твердосплавной вставкой со специальной геометрией.

Ключевые слова: концепция, буровой инструмент, бурение скважин большого диаметра, виброударные инденторы, геометрия заточки наконечников, буровой снаряд для бурения по направляющей скважине, шевингование, крепкие породы.

Для цитирования: Пелипенко Н. А., Игнатенко И. М., Процук И. С., Бакланов Р. Р. Концепция снаряда для бурения скважин большого диаметра // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 4. – С. 16–32. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_4_0_16.

Concept of large-diameter drilling assembly

N.A. Pelipenko¹, I.M. Ignatenko¹, I.S. Protsuk², R.R. Baklanov¹

¹ Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia, e-mail: pelipenkona@mail.ru

² IGGIS LLC, Moscow, Russia

Abstract: The technology of drilling large-diameter multifunction boreholes for rescuing, construction, airing and process operations is discussed. The integrated methods of bottomhole cleaning with simultaneous core disintegration using concurrently compressed air and mud-

fluid are proposed. Turbulation of compressed air and mud fluid at the bottomhole intensifies the bottomhole washing and increases the rate of penetration. The geometry of large-diameter hole drilling with a pilot hole and with full-diameter drilling is developed. The engineering solution on wall scraping in large-diameter boreholes is presented. The advantage of the successive drilling-out technology for large-diameter boreholes is its realizability using a single drill rig. Given overall harmonization of units, tools and couplings, it is possible to reduce greatly the price of drilling assemblies, which can allow essential saving of drilling cost saving. Core drilling of large-diameter boreholes is complicated by the requirement to remove heavy cores from holes. When core is destructed into large fragments, multiple drilling-out might be required. Arrangement of a large-diameter borehole for life-saving is a separate task which is solved concurrently with drilling. A new indentation tool with a tungsten carbide insert of a special geometry is proposed.

Key words: concept, drilling tool, large-diameter drilling, vibratory-percussion indenters, nozzle sharpening geometry, pilot hole drilling assembly, shaving, hard rocks.

For citation: Pelipenko N. A., Ignatenko I. M., Protsuk I. S., Baklanov R. R. Concept of large-diameter drilling assembly. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(4):16-32. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_4_0_16.

Введение

Данный проект распространяется на спасательные, вентиляционные, технологические и добычные скважины диаметром 400—1200 мм в крепких породах.

В Институте наук о Земле Белгородского государственного национального исследовательского университета НИУ «БелГУ» ведутся перспективные исследования по созданию технологий бурения и инструментов для его осуществления. Одним из направлений исследований является создание специальных инструментов для бурения скважин большого диаметра.

Конечной целью настоящей работы является создание технологий и оборудования для обеспечения высокой скорости проходки при бурении скважин большого диаметра, преимущественно для эвакуации горняков при проведении горно-спасательных работ. В статье приведены анализ отдельных факторов и схемные решения.

Проблема бурения скважин большого диаметра является актуальной в нефте-

газовой промышленности, при добыче рудных полезных ископаемых, строительстве горных предприятий, строительном дорожном производстве, обеспечении безопасности горных работ. В предлагаемой статье предложена конструкция специального бурового снаряда и рассмотрен вопрос разрушения керна виброударным методом. Поставлена задача бурения скважин на всю глубину, используя кольцевую виброударную коронку, что позволяет существенно повысить скорость проходки с попутным разрушением керна.

В работе [1] была теоретически обоснована и получила практическое воплощение идея неповторяющегося следа применительно к коронкам для бурения инженерно-геологических скважин. При распределении резцов по окружности коронки по правилу простых чисел производительность повысилась на 20—25% на одних и тех же горных породах.

Выполненные в Амурской области статистические исследования [2] подтвердили правильность подхода к конструированию коронок с неравномерным

углом распределения резцов для пород V–IX категорий буримости по М.М. Протодьяконову. Институтом наук о Земле НИУ «БелГУ» подготовлен каталог подобных буровых коронок для бурения инженерно-геологических скважин.

Ведущие зарубежные университеты и корпорации уделяют большое внимание практике бурения скважин различного назначения. В работе [3] представлено исследование, посвященное приводу буровой установки с созданием соответствующей математической модели, посвященной исследованию амплитудно-частотных спектров при работе бурового инструмента.

Длительная работа горного оборудования связана с усталостью металлов, особенно это касается инструментов и всего оборудования, погружаемого в скважину [4].

Особенность добычи полезных ископаемых малой твердости, таких как уголь, нашло свое воплощение в работах [5, 6]. Обращается внимание на неоднородность минералов и необходимость иметь резерв износостойкости инструментов. Предлагается также детерминированная модель, описывающая эффективность работы инструмента.

В работе [7], перекликающейся с работой [1], авторами рассматриваются режущие инструменты с точки зрения одиночного элемента. Длительное время проводились исследования [8] по процессу резания угля в различных условиях с установлением закономерностей напряжений в зоне контакта инструмента с породой.

Заметные результаты были достигнуты авторами при исследовании контактных напряжений с породой при изменении геометрии инструмента [9], в частности поршня и ударника.

Существенное место в исследованиях занимают работы, касающиеся износа инструмента [10]. Предложен опти-

мальный вынос инструмента, обеспечивающий эффективное резание породы.

В работах [11 – 14] рассмотрены вопросы моделирования процесса взаимодействия инструмента с горной породой. Предложены числовые модели для количественной оценки износа инструмента и эффективности бурения. Повышение производительности буровых технологий тесно связано с выбором параметров воздействия на породу.

В работе [15] приведена система привода с ударным воздействием на породу. При бурении скважин большого диаметра возникают проблемы, связанные с гидродинамическими потерями движения промывочной жидкости.

Авторами работы [16] исследованы явления, связанные с кольцевым движением бурового раствора в режиме ламинарного и турбулентного движений. Информация из данной работы может быть полезна при выполнении буровых работ в особых условиях.

Представляет интерес проведение буровых работ в морских условиях [17]. Авторами исследованы закономерности использования алмазных инструментов и определены экономически оправданные затраты для проведения буровых работ.

Бурение соляных отложений в глубоководной части Мексиканского залива обсуждалось на форумах специалистов по буровым работам. Особое внимание уделялось технологии бурения и надежности инструментов. Рассматривались предложения буровых инструментов, обеспечивающих существенное увеличение производительности бурения в акваториях [18 – 25].

Явление налипания и скольжения при бурении глубоких скважин, а также предложения по их устранению рассмотрены в работах [26 – 28].

Наложение высокочастотных вибраций, обеспечивающих существенное

увеличение эффективности процесса бурения, приведены в работе [29] при разработке месторождений в Южном Ираке.

Наряду со значительными достижениями в области зарубежных буровых технологий проводились работы в РФ. Эффективность бурения при использовании пневмоударных инструментов высокого давления рассмотрена в работе [30]. Группой ученых из Института горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН предложены технические условия производства сталей, используемых для изготовления пневмоударников по результатам их испытаний в производственных условиях. В научном труде [31] авторы рассмотрели показатели прочности пластин-резцов, созданных из твердых и сверхтвердых материалов в условиях клинового зажима. В исследовании [32] автор предложил конструктивные параметры бурения скважин с использованием коронок, армированных алмазно-твердосплавными пластинами. В работе [33] автором предложена перспективная конструкция геологоразведочного пневмоударника со встроенным эжектором, позволяющим существенно увеличить производительность труда.

Экспериментальные исследования пневмоударника с обратной циркуляцией при очистке забоя позволило определить оптимальный зазор между стенками скважины и буровой колонной [34–39].

В Российской Федерации и за рубежом уделяется большое внимание созданию оригинальных конструкций инструментов и оборудования, защищенных патентами [40–42].

События в Чили в 2010 г. показали, как важны скоростные технологии бурения скважин большого диаметра, обеспечивающих спасение людей. Операция по спасению 33 шахтеров, оказавшихся в шахте под двойным завалом на глубине

700 м [43], продолжалась 69 дней, в течение которых шахтеры находились под землей. Основным фактором задержки проведения спасательных работ были технологии бурения. Скорость бурения составляла в среднем 20 м в сутки.

Стоимость такой операции составила около 22 млн долл. США. Весь мир следил за ее исходом. Без преувеличения можно сказать, что это было крупным достижением в области буровой технологии, техники и квалификации горных специалистов.

Повышение скорости бурения скважин большого диаметра в 2–3 раза является вполне реальной задачей, о чем свидетельствует приведенный выше краткий анализ состояния буровых технологий в России и мире [44].

На основании данного обзора можно сделать вывод, что проблема создания бурового снаряда для бурения скважин диаметром до 1200 мм со скоростью 50–70 м в сутки является актуальной для экономики.

Конструкция и принцип работы снаряда для бурения скважин большого диаметра

Проект снаряда для бурения скважин большого диаметра (технология и конструктивные решения) разделяется на несколько задач: создание унифицированных узлов пневмоударных инструментов, спецтехники и надежных измерительных средств.

Традиционное бурение с использованием шарошек, долот и коронок связано со значительными затратами энергии. На рис. 1 наглядно представлены затраты на бурение скважины шарошечным долотом и коронкой. Количество материала, переработанного в мелкодисперсный шлам, в первом случае составит:

$$Q_1 = \frac{\pi D^2}{4} * l.$$

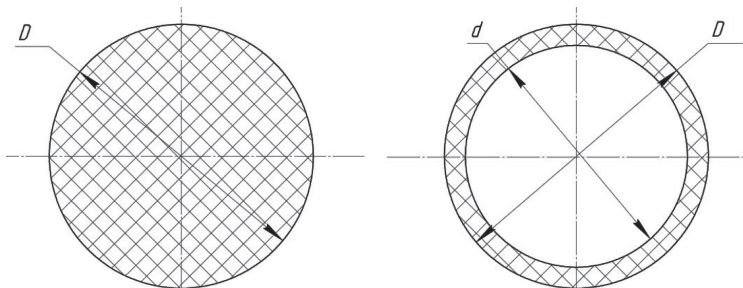


Рис. 1. Наглядная характеристика энергетических затрат на бурение скважины шарошечным долотом и коронкой

Fig. 1. Pictorial diagram of energy input in drilling with roller bits and drill bits

А во втором:

$$Q_2 = \frac{(D^2 - d^2) * l}{4}$$

Коэффициент экономии энергии составит:

$$k = \frac{Q_1}{Q_2}$$

Т.е. чем меньше ширина кольца, тем выгодней выполнять бурение коронкой, а керн разрушать на крупные фрагменты. Размер отдельного фрагмента ограничивается технологическим зазором между снарядом и поверхностью керна.

Периодическое удаление керна диаметром d связано со значительными затратами времени и энергии, которые будут пропорционально возрастать по мере увеличения глубины скважины. Другим недостатком являются ограничения, связанные с диаметром и длиной керна.

В связи с изложенным ставится задача удаления керна без подъема бурового снаряда путем его разрушения на отдельные фрагменты, упомянутые выше.

Целью данной работы является разработка технологий и буровых снарядов для бурения конечной скважины большого диаметра. Цель достигается тем, что керн дробится на фракции, величина которых ограничивается конструкцией бурового снаряда и шириной зазора «С» (рис. 4) между диаметром буровой коронки и внутренним диаметром обсадной трубы. Из практики бурения известно, что максимальный размер кусков, транспортируемых в потоке шлама, должен быть меньше зазора «С» в 2,5–3 раза, что надежно исключает заклинивание буровой трубы.

На рис. 2 показан снаряд для бурения скважин большого диаметра (200 –

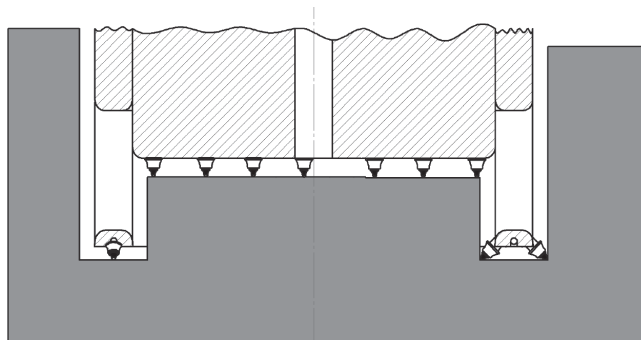


Рис. 2. Двухрежимный вибратор

Fig. 2. Dual mode vibrator

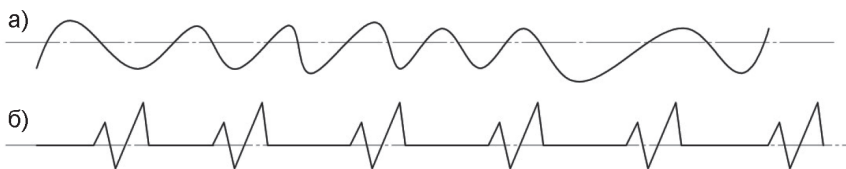


Рис. 3. Рабочие колебания: зубьев (а); вибратора (б)
 Fig. 3. Effective vibrations: teeth (a); vibrator (b)

600 мм). Снаряд оснащен двухрежимным вибратором, характеристика рабочих колебаний которого показана на рис. 3.

Работа бурового снаряда в режиме «а» представляет собой виброударное воздействие на забой с регулируемой частотой и амплитудой. Оптимальный амплитудно-частотный режим подбирается автоматически на практике в зависимости от крепости и буримости пород, через которые проходит скважина. Исходной является частота 30–40 Гц. Энергия единичного воздействия на породу составляет 200 Дж, что обеспечивается массой поршня 5–6 кг, длина которого выбирается в зависимости от крепости породы, и ударника (приблизительно 1,5 кг). Эффективная геометрия ударника обеспечивается периодической заточкой с помощью специального приспособления. Наиболее подходящим конструктивным решением является конусное крепление ударника. Съем ударника для заточки обеспечивается с помощью специального ручного пресса.

Для обеспечения минимального времени смены снаряда после очередной проходки требуется резерв из 2–3 полностью снаряженных снарядов. Извлеченный из скважины снаряд подвергается текущему обслуживанию и полному восстановлению геометрии всех ударников. В возимом комплекте запасных частей должно быть 5–6 комплектов ударников и 2–3 комплекта поршней.

Следует иметь в виду, что золотниково-клапанная система управления частотой вибраций также подвергается

износу, поэтому необходимо иметь в резерве 2–3 комплекта вибраторов.

При колонковом бурении автоматической режим работы позволяет минимизировать износ резцов коронки, т.к. режим истирания породы в забое заменен на режим виброударного разрушения. При таком режиме износ инструмента существенно снижается, поскольку процесс истирания более энергоемкий в отличие от ударного процесса разрушения. Работа в режиме «б» представляет собой периодический виброударный процесс с повышенной амплитудой (рис. 3). Периодичность определяется диаметром скважины.

При спуско-подъемных операциях снаряда в забой необходимо соблюдать осторожность, чтобы не допустить повреждений стенок скважины. Удаление шлама целесообразно проводить с помощью шлам-насоса, установленного на план-шайбу.

Описание работы снаряда для бурения скважин большого диаметра

В процессе конструкторско-технологического исследования была рассмотрена возможность извлечения керна. Сложность извлечения керна большого диаметра заключается в том, что захваты керна существенно усложняют конструкцию и не обеспечивают надежного удержания керна. Другой проблемой является отрыв керна от забоя скважины. Большой диаметр керна и его значительная масса практически исклю-

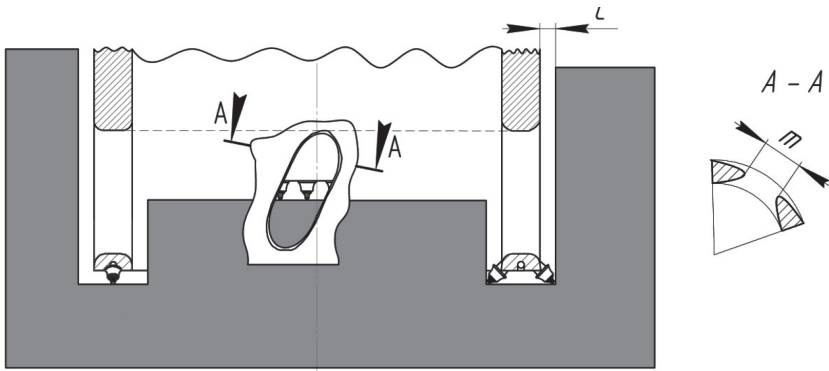


Рис. 4. Винтовая форма окна, его кромки
Fig. 4. Screw shape of window and its edge

чае применения клиньев для разрушения корня. Поэтому была рассмотрена возможность разрушения корня керна радиально расположенными кумулятивными патронами. Детальный анализ показал, что применение всех известных методов отрыва керна снижает вероятность устойчивости к локальным разрушением стенки скважины.

Конструктивные возможности отводящих окон для удаления раздробленного керна выполнены с учетом направления вращения бурового снаряда. На рис. 4 зона окон, выполненная во внешней оболочке снаряда, ограничена

двумя пунктирными линиями. Профиль кромок окон показан на сечении А-А рис. 4.

Представляет интерес одновременное использование сжатого воздуха и промывочной жидкости. Турбулентный процесс в забое, образованный сжатым воздухом и промывочной жидкостью способствует интенсивной очистке забоя и повышению скорости проходки.

Повышение плавучести шлама и снижение вязкости жидкости способствует снижению затрат энергии на очистку скважины от шлама.

Раздельная одновременная подача воздуха и промывочной жидкости под большим давлением представляет определенную техническую сложность.

Вектор движения промывочной жидкости и вектор тангенциальной силы вращения снаряда скалярно суммируются, обеспечивая эффективное удаление осколков керна из полости снаряда. Винтовая форма окна, его кромок и параметры винтовой поверхности окна определяются экспериментально.

Неповторяемый виброударный след разрушения керна (рис. 5) обеспечивается технологически простым способом — размещением инденторов по многозаходной спирали Архимеда со смещенным центром вращения по отношению к оси снаряда $a/1/3 t$, где t — шаг

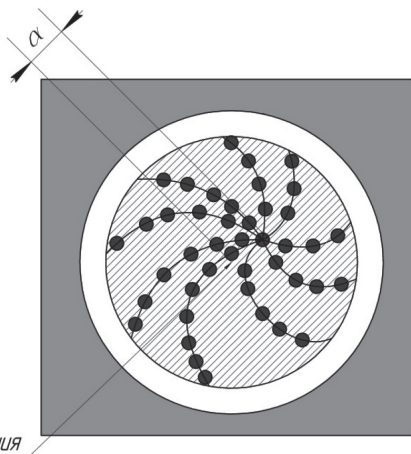


Рис. 5. Разрушение керна инденторами (черные точки)
Fig. 5. Disintegration of core by indenters (black points)

размещения и направления центральных углов.

Керн окружен кольцевым зазором, что существенно облегчает разрушение породы, т.к. кольцевой зазор можно расценивать как свободное пространство. Быстрое снятие горного давления приведет к росту и расширению первичных трещин, что в свою очередь существенно облегчит разрушение керна. Этому способствуют окна в оболочке снаряда.

На рис. 6 показан характер единичного разрушения породы индентором. Индентор обладает двумя степенями свободы в виде возвратно-поступательного движения и вращения вокруг собственной оси. Переносное движение инденторов вместе со снарядом обеспечивает толщину среза горной породы за один оборот снаряда. На рис. 6 показан единичный скол разрушения породы.

Шаг взаимодействия индентора с породой подчиняется закону простых чисел. Графическое представление точек ударов индентора с нерегулярным шагом показано на рис. 7. Черными точками показаны наконечники резцов.

Все инденторы, установленные на буровом снаряде, разрушают породу ме-

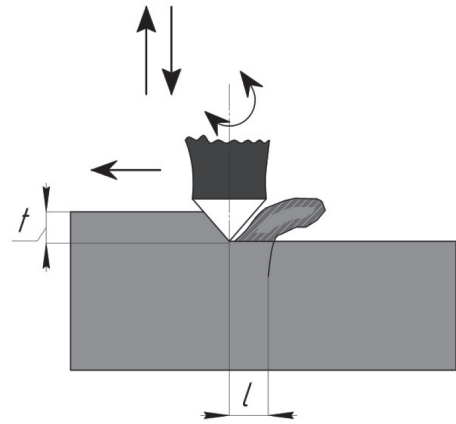


Рис. 6. Разрушение выступа и единичный скол
Fig. 6. Fracture of projection and single shear

тодом неповторяющегося следа. Это обеспечивается тем, что геометрия расположения ударников в линейном и угловом измерении подчиняется закону простых чисел (рис. 8). На рис. 8 цифры 1, 2, 3 и далее обозначают последовательность воздействия инденторов на забой скважины.

Геометрия резания практической реализации процесса вибробурения показана на рис. 9. В качестве примера использован виброударник диаметром 18 мм. На рис. 9, а, б, в показана геометрия за-

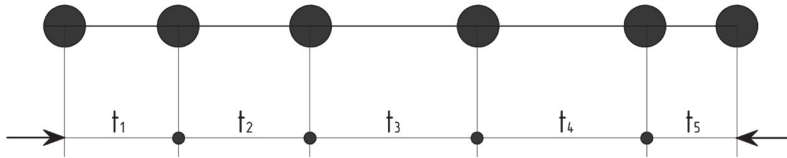


Рис. 7. Расположение зубьев (штырей), проекция по радиусу
Fig. 7. Arrangement of teeth (bit inserts), projection along radius

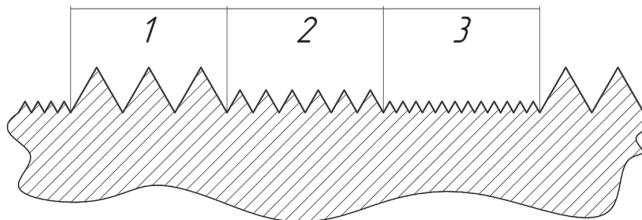


Рис. 8. Графическое представление разрушения породы методом неповторяющегося следа
Fig. 8. Graphic representation of rock fracture by the method of superfinishing (with non-matching traces)

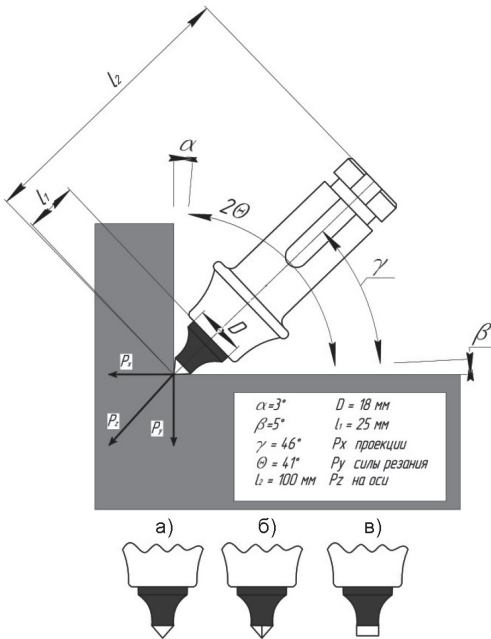


Рис. 9. Геометрия бурения. Заточки наконечников: коническая (а); пирамидальная (б); клиновая (с)
 Fig. 9. Drilling geometry. Nozzle sharpening: conical (a); bull point (b); wedge (c)

точки наконечников: коническая, пирамидальная, клиновая соответственно. В зависимости от крепости и буримости пород используются комбинации

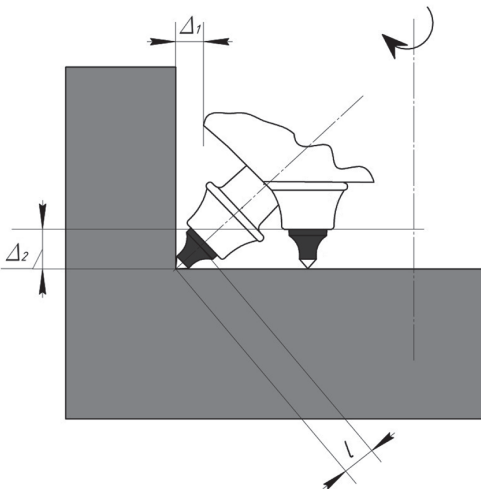


Рис. 10. Углы разрушения породы
 Fig. 10. Angles of rock fracture

инденторов или резцов с соответствующей геометрией режущей части.

В отличие от традиционных штырей, широко используемых в горном деле, геометрия твердосплавного индентора имеет сложную геометрическую форму, учитывающую удельные нагрузки и взаимодействие со шламом. Для горных пород средней крепости представляется возможной замена дорогостоящих твердосплавных вставок на целно выполненные инденторы из инструментальных сталей 4ХС, 6ХВ2С, 6ХВГ и других, включенных в ГОСТ 5950-2000.

Наклон оси индентора к плоскости вращения выбирается так, чтобы виброударное усилие создавало дополнительный момент, положительно суммирующийся с основным моментом вращения снаряда и облегчающий вращение снаряда.

Величина дополнительного момента от единичного удара представляет собой произведение силы удара на радиус, измеряемый от оси вращения снаряда до точки удара на забое. Дополнительный момент возрастает прямо пропорционально от центра вращения до максимального радиуса на периферии снаряда.

На рис. 10 показано взаимодействие резцов, обеспечивающих обработку угла забоя. Зазор Δ_2 равен двум радиальным зазорам Δ_1 . Такое соотношение является оптимальным для обеспечения выноса шлама из забоя. Образующая твердосплавного штыря представляет собой кривую в виде гиперболы. Чем обеспечивается минимум повторного дробления частиц шлама.

На рис. 11 показано бурение скважины большого диаметра виброударным методом при использовании направляющей скважины меньшего (приблизительно в 5 раз) диаметра. Такое технологическое решение целесообразно применять при бурении скважин для

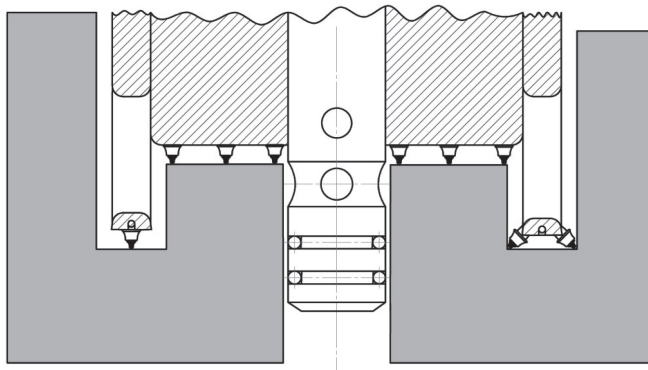


Рис. 11. Буровой снаряд для бурения по направляющей скважине без выемки керна
 Fig. 11. Pilot hole drilling assembly without core removal

вывода людей из горной ловушки в рамках проведения спасательных работ. Предложенная технология обеспечивает высокие скорости бурения скважин большого диаметра и может быть использована при бурении строительно-технологических скважин. Бурение скважины с направляющей требует существенно меньших временных затрат, чем бурение, представленное на рис. 2. Конец направляющего центровика выполняется с канавками на поверхности, обеспечивающими налипание грунта и самоуплотнение центровика.

Технология последовательного разбуривания скважин имеет важное преимущество, заключающееся в том, что все буровые работы по бурению скважин большого диаметра можно выполнить одним станком среднего класса. При условии полной унификации узлов, инструментов и сопряжений можно значительно снизить стоимость буровых снарядов, что в свою очередь приведет к снижению затрат на буровые работы.

В связи с большой массой шлама возникает необходимость в стабилизирующих кольцах. Центровочные и стабилизирующие кольца-люнеты предотвращают уход бурового снаряда от оси и одновременно способствуют исправлению погрешностей стенки скважины.

На рис. 12 представлена система выглаживания поверхности скважины откидными резцами. Особенности резания откидными резцами представляют собой процесс шевингования. Процесс шевингования особенно важен при бурении скважин для спасения людей. Шероховатая поверхность скважины может стать причиной заклинивания спасательного челнока и обрыва троса, что может усугубить ситуацию. Процесс шевингования осуществляется при подъеме с противоположным вращением снаряда. Внутри осей шеверов находится пружинка возврата шевера в рабочее положение.

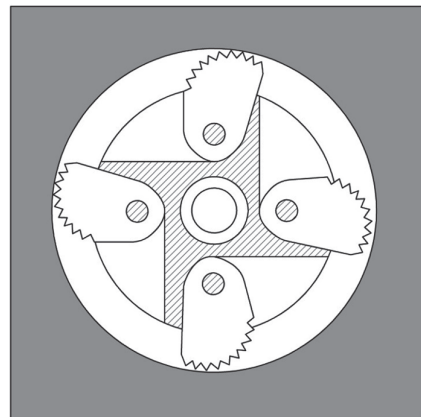


Рис. 12. Шевингование стенок скважины
 Fig. 12. Hole well shaving

При бурении спасательных скважин большого диаметра необходимо обратить особое внимание на уплотнение центровика с тем, чтобы промывочная жидкость не попадала через направляющую скважину в пространство, где находятся люди. Поэтому последние метры бурения необходимо проводить только с воздушным удалением шлама, с подачей минимального количества жидкости для стабилизации процесса резания породы.

Обустройство скважины большого диаметра для спасения людей является отдельной задачей, решаемой параллельно с ведением буровых работ. Основное внимание уделяется укреплению стенок скважины, исключающих вероятность заклинивания спасательного челнока.

Поэтому буровой снаряд, как упоминалось выше, снабжается направляющими устройствами в виде люнетных колец, обеспечивающих минимальное искривление оси скважины.

При проведении спасательных работ, связанных с эвакуацией через скважину попавших в горную ловушку людей, проблема энергозатрат и стоимости работ отодвигаются на второй план. Основополагающим фактором становится время спасения людей. Во время подъема спасательного челнока с человеком на борту важна гарантия устойчивости стенки скважины. Колонковое бурение скважины большого диаметра связано с трудностями извлечения тяжелого керна, разрушение которого на крупные фракции может привести к необходимости повторного разбуривания скважины, связанного с удалением обломков, что ведет к существенным затратам оперативного времени спасения людей.

Поэтому авторы статьи пришли к выводу, что энергетические затраты по разрушению керна являются оптималь-

ным технологическим решением, несмотря на возрастание стоимости работ. Естественно, что такие затраты оправданы только при спасении людей.

Трудно представить трагические последствия, которые могут возникнуть при заклинивании в скважине челнока с человеком на борту.

Таким образом, противоречивые требования щадящего режима бурения и скорости проходки вынуждают принимать технологические решения, связанные со стопроцентным обеспечением устойчивости стенки скважины. Поэтому предложенное колонковое бурение с попутным разрушением керна является оптимальным и вынужденным решением, обеспечивающим щадящий режим проходки скважины.

Заключение

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

- Технология бурения скважины большого диаметра является актуальной задачей.

- Предложенная технология кольцевого виброударного бурения в комбинации с попутным разрушением керна позволяет снизить затраты технологического времени на бурение скважины большого диаметра.

- Виброударное кольцевое бурение с разрушением керна и выносом шлама на дневную поверхность требует значительно меньших затрат энергии по сравнению с колонковым способом бурения.

- Из проекта вытекает задача создания типоразмерного ряда виброударных сборочных единиц, что позволяет существенно снизить затраты на изготовление буровых снарядов.

- Коллектив ученых Института наук о Земле готов в короткие сроки, используя большой задел НИР, приступить к реализации проекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пелипенко Н. А., Процук И. С., Добрынин В. Е., Греховодов И. И. К вопросу о физике бурения скальных пород // Вестник ассоциации буровых подрядчиков. — 2016. — № 3. — С. 14–18.
2. Пелипенко Н. А., Процук И. С., Бакланов Р. Р. Статистическое исследование показателей буримости горных пород при строительстве МГ «Сила Сибири» // Вестник ассоциации буровых подрядчиков. — 2018. — № 2. — С. 44–48.
3. Yilmaz N. G., Yurdakul M., Goktan R. M. Prediction of radial bit cutting force in high-strength rocks using multiple linear regression analysis // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2007. Vol. 44. No 6. P. 962–970.
4. Murakami Yukitaka. Metal fatigue: effects of small defects and nonmetallic inclusions. Elsevier, 2002, P 390.
5. Dewangan S., Chattopadhyaya S., Hloch S. Wear assessment of conical pick used in coal cutting operation // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2015. Vol. 48. No 5. Pp. 2129–2139.
6. Bilgin N., Copur H., Balci C. Effect of replacing disc cutters with chisel tools on performance of a TBM in difficult ground conditions // Tunnelling and Underground Space Technology. 2012. Vol. 27. No 1. Pp. 41–51.
7. Bao R. H. Estimating the peak indentation force of the edge chipping of rocks using single point-attack pick // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2011. Vol. 44. No 3. Pp. 339–347.
8. Evans I. A theory of the cutting force for point-attack picks // Geotechnical and Geological Engineering. 1984. Vol. 2. No 1. Pp. 63–71.
9. Goktan N. A semi-empirical approach to cutting force prediction for point-attach picks // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2005. Vol. 105. No 4. Pp. 257–263.
10. Liu S. Experimental research on wear of conical pick interacting with coal-rock // Engineering Failure Analysis. 2017. Vol. 74. Pp. 172–187.
11. Akcin N. A., Su O. Numerical simulation of rock cutting using the discrete element method // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2011. Vol. 48. No 3. Pp. 434–442.
12. Dewangan S., Chattopadhyaya S., Hloch S. Investigation into coal fragmentation analysis by using conical pick // Procedia Materials Science. 2014. Vol. 5. Pp. 2411–2417.
13. Rojek J., Oñate E., Labra C., Kargl H. Discrete element modelling of rock cutting / Particle-Based Methods. 2011. Pp. 247–267. DOI: 10.1007/978-94-007-0735-1_10.
14. van Wyk G., Els D., Akdogan G., Bradshaw S., Sacks N. Discrete element simulation of tribological interactions in rock cutting // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2014. Vol. 65. Pp. 8–19.
15. Zhang H., Wang M. L., Han Q. K., Sun W. Dynamic behaviors of the cutterhead driving system in tunneling boring machine with impact // Journal of Mechanical Engineering Science. 2016. Vol. 230. Pp. 2427–2437.
16. Liu Y., Zhang G. C. Numerical simulation of large-diameter annular pressure loss in riser segment of deep-water drilling // Advanced Materials Research. 2014. Vol. 868. Pp. 510–516.
17. D'Ambrosio P., Hart S., Prochaska E., Bouska R., Tinsley D. Cost-effective ultralarge-diameter polycrystalline-diamond-compact-bit drilling in deepwater gulf of Mexico // SPE Drilling & Completion. 2014. Vol. 29. No 01. Pp. 47–63.
18. Aburto M. Drilling optimization for salt caprock in deepwater gulf of Mexico // Paper prepared for the Drilling & Completing Trouble Zones (DCTZ) Forum. 2011.
19. Barton S., Weeden R., Mensa-Wilmot G. Solving the salt challenge: unique drill bit philosophy delivers breakthrough performance in the gulf of Mexico // Paper OTC-20425 presented at the Offshore Technology Conference. 2010. DOI: 10.4043/20425-MS.
20. Chamat E., Israel R. Efficient and reliable vertical drilling of top holes with RSS in deep-water GOM // Paper SPE 151395 presented at the IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition. 2012. DOI: 10.2118/151395-MS.

21. *Chatar C., D'Ambrosio P., Clyde R.* Directional Drilling Challenges for Deep Wells – Modeling Side-Force Limits // Paper AADE 2009NTCE-14-03 presented at the American Association of Drilling Engineers. 2009.

22. *Chatar C., Israel R., Cantrell A.* Drilling Deep in DeepWater: What It Takes to Drill Past 30,000 ft. Paper SPE 128190 presented at the IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition. 2010. DOI: 10.2118/128190-MS.

23. *Dykstra M., Grauwman R.* Business value of stick-slip mitigation: Rejuvenation of soft torque technology. IADC Stick-Slip Mitigation Workshop. 2010.

24. *Kull B.J., Duff R., Clarke A.* Salt Drilling While Underreaming Behaviors Illuminated by Distributed Downhole Measurements // Paper SPE 124121 presented at the 2009 SPE Annual Technical Conference and Exhibition. 2009. DOI: 10.2118/124121-MS.

25. *Kyllingstad A., Nessjoen P.J.* Hardware-in-the-loop simulations used as a cost-efficient tool for developing an advanced stick-slip prevention system // Paper SPE 128223 presented at the IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition. 2010. DOI: 10.2118/128223-MS.

26. *Kyllingstad A., Nessjoen P.J., D'Ambrosio P.* Field experience with an active stick-slip prevention system. Paper SPE 139956 presented at the SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition. 2011. DOI: 10.2118/139956-MS.

27. *Neuschaefer R., Sirkin G., Tollefsen E.* Realizing substantial rig time savings with next-generation LWD and directional services // Paper presented at the Global Drilling Conference. 2005.

28. *Stroud D., Bird N., Norton P.* Roller reamer fulcrum in point-the-bit rotary steerable system reduces stick-slip and backward whirl // Paper SPE 151603 presented at the IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition. 2012. DOI: 10.2118/151603-MS.

29. *Teasdale P., Chafai R., Saeed A.* BHA modeling coupled with high frequency downhole vibration data provides unique solution to inconsistent drilling performance in south Iraq oilfield development // Paper SPE 156445 presented at the IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference and Exhibition. 2012. DOI: 10.2118/156445-MS.

30. *Репин А. А., Смоляницкий Б. Н., Алексеев С. Е., Попелюх А. И., Тимонин В. В., Карпов В. Н.* Погружные пневмударники высокого давления для открытых горных работ // ФТПРПИ. – 2014. – № 5. – С. 157 – 167.

31. *Федоров Л. Н., Ермаков С. А.* Прочность пластин-резцов из твердых и сверхтвердых материалов в условиях клинового зажима // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2018. – № 12. – С. 142 – 150. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-0-142-150.

32. *Третьяк А. А.* Теоретическое обоснование, разработка конструктивных параметров технологии бурения скважин коронками, армированными алмазно-твердосплавными пластинами: Дис. докт. техн. наук. – Новочеркасск: ЮРГПУ, 2017. – 319 с.

33. *Сыкчин М. Е.* Создание кольцевого геологоразведочного пневмударника со встроенным эжекторным устройством Автореф. дисс. на соискание уч. ст. канд. техн. наук. – Новосибирск, 1993.

34. *Липин А. А., Харламов Ю. П., Тимонин В. В.* Исследование циркуляционной системы пневмударника с центральным шламотранспортом // ФТПРПИ. – 2013. – № 2. – С. 91 – 99.

35. *Костылев А. Д., Данилов Б. Б., Смоляницкий Б. Н., Сырямин Ю. Н., Коган Д. И., Савельев В. Н.* Новый забойный кольцевой пневмударник для бурения геологоразведочных скважин // ФТПРПИ. – 1985. – № 2 – С. 53 – 57.

36. *Петреев А. М., Примычкин А. Ю.* Влияние типа системы воздухораспределения на энергетические показатели пневмударного узла кольцевой ударной машины // ФТПРПИ. – 2015. – № 3 – С. 117 – 123.

37. *Петреев А. М., Воронцов Д. С., Примычкин А. Ю.* Кольцевой упругий клапан в пневмударных машинах // ФТПРПИ. – 2010. – № 4. – С. 56 – 65.

38. Алексеев С. Е., Тимонин В. В., Кокоулин Д. И., Шахторин И. О. Создание малогабаритного пневмоударника для проходки исследовательских скважин // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук.* — 2015. — № 2. — С. 187–193.

39. Карпов В. Н., Шахторин И. О. К вопросу исследования причин возникновения дефектов элементов конструкции погружных пневмоударников / Сборник трудов Всероссийской конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых с элементами научной школы «Горняцкая смена-2015» — Новосибирск: изд-во ИГД СО РАН, 2015. — С. 10–15.

40. Матвеев Ю. А., Кардыш Г. В. Патент № 2235848 РФ, МПК 7E21B 25/00. Snaryad dlya bureniya s transportirovaniem razrushennoy porody obratnym potokom oчитного агента. Заявитель и патентообладатель ФГУП СКБ «Геотехника». № 2002126537; заявл. 07.10.2002; опубли. 10.09. 2004. Бюл. № 18.

41. Белоусов А. В. Патент № 2090729 РФ, МПК 6 E 21 B 4/14, E 21 C 3/24. Погружной пневмоударник. Заявитель и патентообладатель ФГБУН ИГД им. Чинакала СО РАН. № 95100219/03; заявл. 10.01.1995; опубли. 20.09.1997. Бюл. № 26.

42. Green C. J. Патент № GB 0407947 Великобритания, МПК 8E 21B10/3, E21B4/14S. Высокоэффективное забойное ударное оборудование. Заявитель и патентообладатель Halco Drilling International Limited. № 59962105; заявл. 05. 04. 2005; опубли. 23. 12 2008. Бюл. № 24.

43. https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Rescate_de_la_mina_San_Jos%C3%A9&oldid=117177947.

44. ГОСТ Р 51639-2000. Коронки для колонкового бурения скважин большого диаметра. — М.: Изд-во стандартов, 2000. **ГАЗ**

REFERENCES

1. Pelipenko N.A., Protsuk I.S., Dobrynin V.E., Grehovodov I.I. For the question about the physics of the hard rock drilling. *Bulletin of the Association of Drilling Contractors.* 2016, no 3, pp. 14–18. [In Russ].

2. Pelipenko N.A., Protsuk I.S., Baklanov R.R. Statistical investigation of the indicators of mountain rocks in the construction of MG «Force Siberia». *Bulletin of the Association of Drilling Contractors.* 2018, no 2, pp. 44–48. [In Russ].

3. Yilmaz N.G., Yurdakul M., Goktan R.M. Prediction of radial bit cutting force in high-strength rocks using multiple linear regression analysis. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.* 2007. Vol. 44. No 6. P. 962–970.

4. Murakami Yukitaka. *Metal fatigue: effects of small defects and nonmetallic inclusions.* Elsevier, 2002, P 390.

5. Dewangan S., Chattopadhyaya S., Hloch S. Wear assessment of conical pick used in coal cutting operation. *Rock Mechanics and Rock Engineering.* 2015. Vol. 48. No 5. Pp. 2129–2139.

6. Bilgin N., Copur H., Balci C. Effect of replacing disc cutters with chisel tools on performance of a TBM in difficult ground conditions. *Tunnelling and Underground Space Technology.* 2012. Vol. 27. No 1. Pp. 41–51.

7. Bao R.H. Estimating the peak indentation force of the edge chipping of rocks using single point-attack pick. *Rock Mechanics and Rock Engineering.* 2011. Vol. 44. No 3. Pp. 339–347.

8. Evans I. A theory of the cutting force for point-attack picks. *Geotechnical and Geological Engineering.* 1984. Vol. 2. No 1. Pp. 63–71.

9. Goktan N. A semi-empirical approach to cutting force prediction for point-attach picks. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy.* 2005. Vol. 105. No 4. Pp. 257–263.

10. Liu S. Experimental research on wear of conical pick interacting with coal-rock. *Engineering Failure Analysis.* 2017. Vol. 74. Pp. 172–187.

11. Akcin N.A., Su O. Numerical simulation of rock cutting using the discrete element method. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.* 2011. Vol. 48. No 3. Pp. 434–442.

12. Dewangan S., Chattopadhyaya S., Hloch S. Investigation into coal fragmentation analysis by using conical pick. *Procedia Materials Science*. 2014. Vol. 5. Pp. 2411 – 2417.
13. Rojek J., Oñate E., Labra C., Kargl H. Discrete element modelling of rock cutting. *Particle-Based Methods*. 2011. Pp. 247 – 267. DOI: 10.1007/978-94-007-0735-1_10.
14. van Wyk G., Els D., Akdogan G., Bradshaw S., Sacks N. Discrete element simulation of tribological interactions in rock cutting. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2014. Vol. 65. Pp. 8 – 19.
15. Zhang H., Wang M. L., Han Q. K., Sun W. Dynamic behaviors of the cutterhead driving system in tunneling boring machine with impact. *Journal of Mechanical Engineering Science*. 2016. Vol. 230. Pp. 2427–2437.
16. Liu Y., Zhang G.C. Numerical simulation of large-diameter annular pressure loss in riser segment of deep-water drilling. *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 868. Pp. 510 – 516.
17. D’Ambrosio P., Hart S., Prochaska E., Bouska R., Tinsley D. Cost-effective ultralarge-diameter polycrystalline-diamond-compact-bit drilling in deepwater gulf of Mexico. *SPE Drilling & Completion*. 2014. Vol. 29. No 01. Pp. 47–63.
18. Aburto M. Drilling optimization for salt caprock in deepwater gulf of Mexico. *Paper prepared for the Drilling & Completing Trouble Zones (DCTZ) Forum*. 2011.
19. Barton S., Weeden R., Mensa-Wilmot G. Solving the salt challenge: unique drill bit philosophy delivers breakthrough performance in the gulf of Mexico. Paper OTC-20425 presented at the Offshore Technology Conference. 2010. DOI: 10.4043/20425-MS.
20. Chamat E., Israel R. Efficient and reliable vertical drilling of top holes with RSS in deep-water GOM. *Paper SPE 151395 presented at the IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition*. 2012. DOI: 10.2118/151395-MS.
21. Chatar C., D’Ambrosio P., Clyde R. Directional Drilling Challenges for Deep Wells – Modeling Side-Force Limits. *Paper AADE 2009NTCE-14-03 presented at the American Association of Drilling Engineers*. 2009.
22. Chatar C., Israel R., Cantrell A. Drilling Deep in DeepWater: What It Takes to Drill Past 30,000 ft. *Paper SPE 128190 presented at the IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition*. 2010. DOI: 10.2118/128190-MS.
23. Dykstra M., Grauwman R. *Business value of stick-slip mitigation: Rejuvenation of soft torque technology*. IADC Stick-Slip Mitigation Workshop. 2010.
24. Kull B.J., Duff R., Clarke A. Salt Drilling While Underreaming Behaviors Illuminated by Distributed Downhole Measurements. *Paper SPE 124121 presented at the 2009 SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. 2009. DOI: 10.2118/124121-MS.
25. Kyllingstad A., Nessjoen P.J. Hardware-in-the-loop simulations used as a cost-efficient tool for developing an advanced stick-slip prevention system. *Paper SPE 128223 presented at the IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition*. 2010. DOI: 10.2118/128223-MS.
26. Kyllingstad A., Nessjoen P.J., D’Ambrosio P. Field experience with an active stick-slip prevention system. *Paper SPE 139956 presented at the SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition*. 2011. DOI: 10.2118/139956-MS.
27. Neuschaefer R., Sirkin G., Tollefsen E. Realizing substantial rig time savings with next-generation LWD and directional services. *Paper presented at the Global Drilling Conference*. 2005.
28. Stroud D., Bird N., Norton P. Roller reamer fulcrum in point-the-bit rotary steerable system reduces stick-slip and backward whirl. *Paper SPE 151603 presented at the IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition*. 2012. DOI: 10.2118/151603-MS.
29. Teasdale P., Chafai R., Saeed A. BHA modeling coupled with high frequency downhole vibration data provides unique solution to inconsistent drilling performance in south iraq oilfield development. *Paper SPE 156445 presented at the IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference and Exhibition*. 2012. DOI: 10.2118/156445-MS.
30. Repin A.A., Smolyanitsky B.N., Alekseev S.E., Popelyuh A.I., Timonin V.V., Karpov V.N. Submersible high-pressure hammers for open cast mining. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2014, no 5, pp. 157 – 167. [In Russ].

31. Fedorov L. N., Ermakov S. A. Strength of inserts made of hard and superhard materials under wedge clamping action. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no 12, pp. 142–150. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-0-142-150.

32. Tret'yak A. A. *Teoreticheskoe obosnovanie, razrabotka konstruktivnykh parametrov tekhnologii bureniya skvazhin koronkami, armirovannymi almazno-tverdospлавными пластинами* [Theoretical substantiation, development of design parameters of the technology of drilling wells with crowns reinforced with diamond-hard-alloy plates], Doctor's thesis, Novocherkassk, YURGPU, 2017, 319 p.

33. Sykchin M. E. *Sozdanie kol'tsevogo geologorazvedochnogo pnevmoudarnika so vstroennym ezhektornym ustroystvom* [Creation of a ring exploration hammer with a built-in ejector device], Candidate's thesis, Novosibirsk, 1993.

34. Lipin A. A., Kharlamov Yu. P., Timonin V. V. Study of the circulation system of a hammer with central slurry transport. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh.* 2013, no 2, pp. 91–99. [In Russ].

35. Kostylev A. D., Danilov B. B., Smolyanitsky B. N., Syryamin Yu. N., Kogan D. I., Saveleyev V. N. A new downhole annular hammer for drilling exploration wells. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh.* 1985, no 2, pp. 53–57. [In Russ].

36. Petreev A. M., Primychkin A. Yu. Influence of the type of air distribution system on the energy performance of a pneumatic impact assembly of a ring impact machine. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh.* 2015, no 3, pp. 117–123. [In Russ].

37. Petreev A. M., Vorontsov D. S., Primichkin A. Yu. Annular elastic valve in pneumatic impact machines. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh.* 2010, no 4, pp. 56–65. [In Russ].

38. Alekseev S. E., Timonin V. V., Kokoulin D. I., Shakhtorin I. O. Creation of a small-sized hammer for drilling exploratory wells. *Mining sciences: fundamental and applied issues.* 2015, no 2, pp. 187–193. [In Russ].

39. Karpov V. N., Shakhtorin I. O. On the study of the causes of defects in structural elements of submersible hammers. *Sbornik trudov Vserossiyskoy konferentsii dlya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh s elementami nauchnoy shkoly «Gornyatskaya smena-2015»* [Proceedings of the all-russian conference for students, post-graduate students and young scientists with elements of the Gornyat shift 2015 scientific school], Novosibirsk: izd-vo IGD SO RAN, 2015, pp. 10–15. [In Russ].

40. Matveev Yu. A., Kardysh G. V. *Patent RU 2235848, MPK 7E21V 25/00.* 10.09.2004.

41. Belousov A. V. *Patent RU 2090729, MPK 6 E 21 V 4/14, E 21 S 3/24.* 20.09.1997.

42. Green C. J. *Patent GB 0407947, MPK 8E 21V10/3, E21V4/14S.* 23.12.2008.

43. https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Rescate_de_la_mina_San_Jos%C3%A9&oldid=117177947.

44. *Koronki dlya kolonkovogo bureniya skvazhin bol'shogo diametra. GOST R 51639-2000* [Crowns for core drilling of large diameter wells. State Standart R 51639-2000], Moscow, Izd-vo standartov, 2000.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пелипенко Николай Андреевич¹ – д-р техн. наук, профессор, e-mail: pelipenkona@mail.ru,

Игнатенко Игнат Михайлович¹ – канд. техн. наук, директор Института Наук о Земле, e-mail: ignatenko_i@bsu.edu.ru, Процук Иван Сергеевич¹ – ведущий специалист, ООО «ИГИИС», e-mail: geolog_ivan@mail.ru,

Бакланов Руслан Романович¹ – аспирант, e-mail: baklanovrr@mail.ru,

¹ Белгородский государственный национальный исследовательский университет.

Для контактов: Пелипенко Н. А., e-mail: pelipenkona@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*N.A. Pelipenko*¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: pelipenkona@mail.ru,
*I.M. Ignatenko*¹, Cand. Sci. (Eng.), Director, Institute of Earth Sciences,
e-mail: ignatenko_i@bsu.edu.ru,
I.S. Protsuk, Leading Specialist, IGGIS LLC, e-mail: geolog_ivan@mail.ru,
*R.R. Baklanov*¹, Graduate Student, e-mail: baklanovrr@mail.ru,
¹ Belgorod State National Research University, 308015, Belgorod, Russia.
Corresponding author: N.A. Pelipenko, e-mail: pelipenkona@mail.ru.

Получена редакцией 01.11.2019; получена после рецензии 16.11.2020; принята к печати 10.03.2021.
Received by the editors 01.11.2019; received after the review 16.11.2020; accepted for printing 10.03.2021.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ УДАРООПАСНОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД НА ОСНОВЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

(2020, № 12, СБ 49, 12 с.)

*Ахметзянова Альбина Маратовна*¹ — аспирант, e-mail: albina4570@mail.ru,
*Пономаренко Евгения Игоревна*¹ — аспирант, e-mail: evgeniya0045@gmail.com,
*Алфимова Ульяна Сергеевна*¹ — аспирант, e-mail: uiyano4ka@mail.ru,
¹ ГИ НИТУ «МИСиС».

На угольных месторождениях места тектонических разрушений целиков и краевых частей выработок с высококонцентрированными напряжениями играют важную роль при подборе надежного способа отработки шахтного поля. Вместе с ростом напряженного состояния в угольных пластах (горные удары и выбросы), опасность возникновения горного давления выражается в следующем: горные породы стремятся к обрушениям и высыпаниям при разработке крутых пластов, также ослабевают устойчивость горных пород. Затрудняется контроль кровли в очистных выработках. Для создания проекций удароопасности, используя данные сейсмической активности, применяются различные методики. Проведен анализ эффективности методов оценки степени удароопасности массива горных пород. Дан обзор методов оценки степени удароопасности массива горных пород и обоснование их эффективности.

Ключевые слова: оценки удароопасности, прогноз удароопасности, геофизические методы контроля, напряженно-деформированное состояние, массив горных пород, техногенная сейсмичность, сейсмический мониторинг, энергия сейсмических событий, угольные месторождения.

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR ASSESSING THE DEGREE OF ROCK MASS IMPACT HAZARD BASED ON SEISMIC OBSERVATIONS

*A.M. Akhmetzyanova*¹, Graduate Student, e-mail: albina4570@mail.ru,
*E.I. Ponomarenko*¹, Graduate Student, e-mail: evgeniya0045@gmail.com,
*U.S. Alfimova*¹, Graduate Student, e-mail: uiyano4ka@mail.ru,

¹ Mining Institute, National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia.

In coal deposits, the places of tectonic destruction of the pillars and edge parts of the workings with highly concentrated stresses play an important role in the selection of a reliable method for mining the mine field. Along with the increase in the stress state in coal seams (rock impacts and emissions), the danger of mountain pressure was also expressed in the following: rocks tend to collapse and erupt during the development of steep layers, and the stability of rocks also weakens. In this connection it is very difficult to control the roof in the underground workings of the treatment plant. Various techniques are used to create shock hazard projections using seismic activity data. An analysis of the effectiveness of methods for assessing the degree of impact hazard of a rock mass is carried out. A review of methods for assessing the degree of impact hazard of a rock mass and justification of their effectiveness is given.

Key words: impact hazard estimates, impact hazard forecast, geophysical monitoring methods, stress-strain state, rock mass, technogenic seismicity, seismic monitoring, energy of seismic events, coal deposits.