

А.С. ГРОМАДСКИЙ, д-р техн. наук, проф., В.Д. АФАНАСЬЕВ, канд. техн. наук, доц.,  
Д.И. КУЗЬМЕНКО, аспирант, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ УДАРНОГО ИМПУЛЬСА ЧЕРЕЗ БУРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ

Определены рациональные геометрические параметры корпуса коронки, обеспечивающие максимальную передачу энергии ударной волны породоразрушающим штырям.

**Проблема и ее связь с практическими задачами.** Среди многих видов подземных выработок, которые проводятся на железорудных шахтах, наибольшую сложность представляет процесс проведения нарезных выработок небольшого сечения (не больше 2,2х2,2 м) на подэтажах при проходке к рудному телу.

Объем проведения таких выработок достигает до 70% от общего объема проходческих работ на шахтах Криворожского железорудного бассейна. Сложность проведения нарезных выработок обуславливается специфическими условиями, в которых осуществляется этот процесс. Малый размер свободного пространства выработки, который не позволяет применять мощное буровое оборудование при повышенной крепости пород ( $f=14-20$ ).

Соответственно и эффективность взрывных работ в таких условиях относительно невысокая. Как правило, величина коэффициента использования шпура (КИШ) не превышает 0,6-0,8. Это имеет серьезные негативные экономические последствия в связи с неэффективным использованием ресурсов на буровзрывных работах.

**Анализ исследований и публикаций.** Проблемой повышения эффективности буровзрывных работ занимались известные ученые в отрасли горных машин и механики бурения [1-4]. В этих работах показано, что одним из наиболее эффективных методов решения проблемы является применение компенсационных шпуров и скважин.

Авторами вышеприведенных работ предложено ряд методов и устройств образования компенсационных шпуров. Однако в связи со сложностью этих методов и конструкций устройств, их повышенной стоимостью, а также недостаточной эффективностью эти устройства так и не нашли применения в практике проведения подземных горных выработок в условиях железорудных шахт.

**Постановка задачи.** Целью настоящей работы является обоснование и разработка рациональных конструкций штыревых коронок для образования компенсационных шпуров и увеличения КИШ буровзрывных работ при проведении подэтажных подземных горных выработок в условиях железорудных шахт.

**Изложение материала и результаты.** При нанесении удара по хвостовику штанги, в последней формируется волна деформаций и напряжений. Эта волна при распространении по буровом инструменте формирует продольные волны, которые создают продольное внедрение коронки в горную породу.

Поле напряжений в коронках еще более усложняется в результате наличия продувочных каналов и боковых пазов для выноса буровой мелочи.

Исследование известных конструкций корпуса коронок-расширителей КРК (рис. 1а,б) для бурения компенсационных шпуров (скважин) показывает, что они не достаточно обеспечивают передачу ударного импульса от поршня ударной машины к породе, а так же не обладают необходимой прочностью корпусов и креплением направляющих устройств при бурении крепких пород.



**Рис. 1.** Общий вид коронки КРК

Ввиду малой величины внедрения породоразрушающего твердосплавного вооружения инструмента, основная часть приложенного к коронке ударного импульса поглощается ее корпусом, что обеспечивает небольшую скорость бурения и вызывает зарождение усталостных трещин в наиболее напряженных зонах (место соединения коронки и буровой штанги) и, как следствие, выход инструмента из строя.

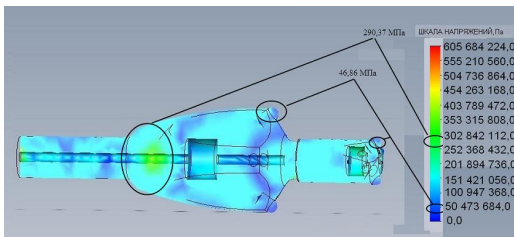
Была разработана новая конструкция штыревой комбинированных коронки-расширителя, которая обеспечивает формирование компенсационных шпуров в одну стадию (бурение шпуров и их расширение одновременно) рис. 2.



**Рис.2.** Штыревая комбинированная коронка-расширитель

Для исследования напряжений в элементах корпуса коронки нами выполнено виртуальное компьютерное моделирование с использованием пакета COSMOSWorks. Пакет COSMOSWorks основан на использовании метода конечных элементов. Все расчетные схемы коронок были построены в среде SolidWorks с учетом требований, выдвигаемых пакетом COSMOSWorks. На рис. 1,3 показаны результаты моделирования (для наглядности продольные разрезы коронок).

На рис. 1,3, характерные зоны напряжений в корпусе коронки и соответствующие им зоны на шкалах напряжений выделены круговыми линиями. Из рис. 3 видно, что новая коронка обеспечивают лучшую передачу энергии бойка к породоразрушающим штырям, величина напряжений на штырьках составляет 46,86 МПа. В то время как величина напряжений на лезвиях коронки типа КРК составляет порядка 19,42 МПа (рис. 1).



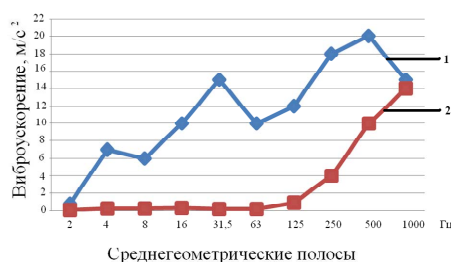
**Рис. 3.** Результаты исследований прохождения ударной волны по штыревой комбинированной коронке-расширителю

Следует отметить, что в коронке типа КРК, рис. 1, присутствует зона перенапряжения корпуса коронки в месте посадки коронки на буровую штангу. Величина этого напряжения порядка 564,68 МПа. Такая величина напряжения может привести к разрушению корпуса коронки при наличии концентраторов напряжений и микротрещин после термообработки.

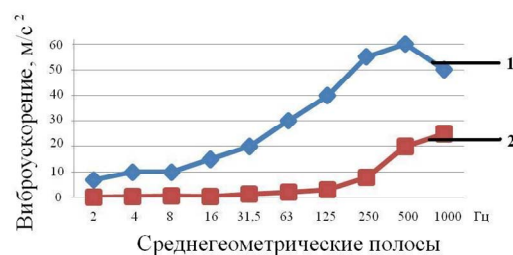
Коронки с повышенными напряжениями на штырьках, рис. 3, теоретически обеспечат повышенную эффективность разрушения горной породы пропорционально отношению напряжений на штырьках, по сравнению с коронками, рис. 1, с меньшими напряжениями на штырьках, в которых разрушение породы осуществляется только за счет бокового скалывания.

Для подтверждения результатов компьютерного моделирования прохождения ударного импульса через буровой инструмент были проведены лабораторные исследование прохождения виброускорения через выше рассматриваемые коронки и на разрушаемую породу.

На рис. 4,5 представлены значения виброускорения которые возникают в момент удара ударника о хвостовик буровой штанги (1) и виброускорение переданное через буровой инструмент породе (2) в диапазоне частот 2 - 1000 Гц.



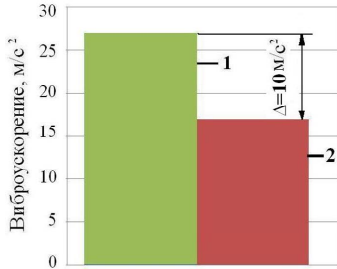
**Рис.4.** Значения виброускорения, м/с<sup>2</sup> комбинированной коронки-расширителя на: 1 - буровой штанге; 2 - породе



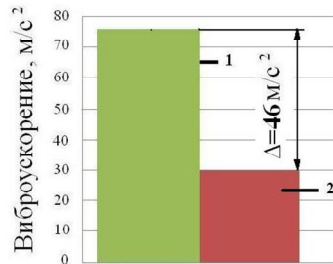
**Рис. 5.** Значения виброускорения, м/с<sup>2</sup> коронки-расширителя КРК на: 1 - буровой штанге; 2 - породе

Методика определения суммарного значения виброускорения заключается в следующем: полученные значения виброускорения, рис. 4,5 с помощью таблицы соотношения виброускорения в дБ и его значения в  $\text{м/с}^2$ , переводим с  $\text{м/с}^2$  в дБ, далее находим суммарное значение виброускорения в дБ и соответствующее ему значение в  $\text{м/с}^2$ .

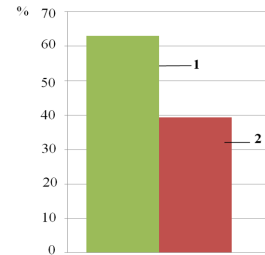
На рис. 6,7 представлены суммарные значения виброускорения которые возникают в момент удара ударника о хвостовик буровой штанги (1) и виброускорение переданное через буровой инструмент породе. Из рисунков видно, что комбинированная коронка-расширитель обеспечивает лучшую передачу виброускорения от ударника к породе, по сравнению с коронкой КРК.



**Рис. 6.** Суммарные значения виброускорения,  $\text{м/с}^2$  комбинированной коронки-расширителя на: 1 - буровой штанге; 2 - породе



**Рис. 7.** Суммарные значения виброускорения,  $\text{м/с}^2$  коронки-расширителя КРК на: 1 - буровой штанге; 2 - породе



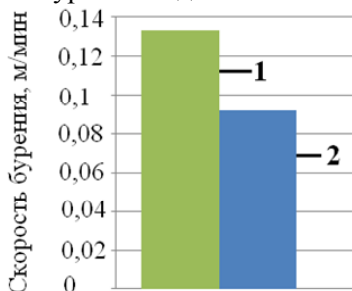
**Рис. 8.** Процентное соотношение передачи виброускорения: 1 - комбинированной коронки-расширителя; 2 - коронки-расширителя КРК

На рис. 6,7 главная величина  $\Delta$ , которая характеризует потери энергии удара в коронках. Чем больше  $\Delta$ , тем значительнее потери.

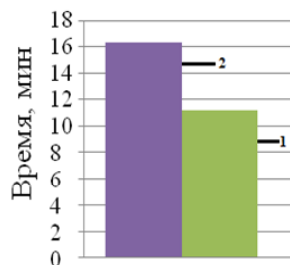
Это подтверждается рис. 8, на котором показано процентное соотношение передачи виброускорения коронкой КРК и комбинированной коронкой-расширителем. Из рисунка видно, что комбинированная коронка-расширитель обеспечивает передачу виброускорения на породу в размере 63% от начальной величины виброускорения которое было в момент удара по хвостовике буровой штанги, в то время как коронка-расширитель КРК обеспечивает передачу виброускорения в размере 39,37% от начальной величины.

Для подтверждения результатов аналитических исследований были проведены сравнительные эксперименты при бурении шпуров экспериментальной коронкой и коронкой-расширителем КРК.

На рис. 9, показано сравнение скорости бурения экспериментальной и серийной коронок, полученной в результате лабораторных экспериментов. На рис. 10 представлены зависимость затрат времени на бурение шпура глубиной 1,5 м. При этом бурение комбинированной коронкой осуществлялось в монолите гранитной породы, а бурение коронкой КРК осуществлялось в предварительно пробуренном шпуре  $\varnothing 40$  мм. Поэтому если учитывать время и энергозатраты на бурение подготовительного шпура, то эффективность новой коронки будет еще выше.



**Рис. 9.** Скорость бурения: 1 - экспериментальная коронка; 2 - коронка-расширитель КРК



**Рис. 10** Затраты времени на бурение: 1 - экспериментальная коронка; 2 - коронка-расширитель КРК

коронка-расширитель КРК обеспечивает передачу виброускорения в размере 39,37% от начальной величины;

В ходе лабораторных экспериментов, подтверждены результаты аналитических исследований о влиянии геометрических параметров корпуса коронки на процесс передачи ударной вол-

В результате проведенных экспериментов установлено следующее.

Комбинированная коронка-расширитель обеспечивает передачу виброускорения на породу в размере 63% от начальной величины виброускорения которое было в момент удара по хвостовике буровой штанги. В то время как

ны от поршня-ударника к породоразрушающим элементам. Коронки с повышенными напряжениями на штырьках, рис. 3, обеспечивают повышенную эффективность разрушения горной породы по сравнению с коронками с меньшими напряжениями на штырьках, см. рис. 1, в которых разрушение породы осуществляется в основном за счет бокового скалывания.

В ходе сравнительного бурения шпуров в лабораторных условиях экспериментальной коронкой и коронкой-расширителем КРК установлено, что скорость бурения коронок экспериментальной комбинированной коронки-расширителя повышается. Она равна 0,133 м/мин, что в 1,45 раза выше, чем у коронки-расширителя КРК 0,092 м/мин, рис. 9, несмотря на то, что коронкой КРК бурили в уже пробуренном шпуре Ø40 мм, т.е. условия бурения для коронки КРК были лучшими, но бурила она хуже

В коронке типа КРК, присутствует зона перенапряжения корпуса коронки в месте посадки коронки на буровую штангу. Величина этого напряжения порядка 564,68 МПа, такая величина напряжения превышает допустимое и может привести к разрушению корпуса коронки;

5. Ударная волна, формируемая поршнем-ударником, не доходит до лезвий коронки-расширителя КРК, следовательно, разрушение породы осуществляется в основном за счет бокового скалывания. Это можно объяснить следующим образом. Если ударная волна, проходя по штанге, встречает на своем пути утолщения (бурты) или сужения (нарезка), то перед буртом возникают пиковые напряжения, которые вызывают отражения ударных волн [5]. Когда волна подходит к соединению штанги с коронкой, то происходят сложные отражения и наложения ударных волн. Выпускаемые коронки КРК имеют резкие переходы сечения по длине, что вызывает повышенные отражения ударных волн и как следствие поломки инструмента и производительности бурения.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** 1. Одним из наиболее эффективных путей повышения буровзрывных работ при перфораторном бурении есть применение компенсационных шпуров.

2. Применением равных сечений в местах соединений между коронкой и штангой можно добиться максимальной передачи энергии прямого импульса из буровой штанги на породоразрушающие элементы коронки.

3. Корпусам буровых коронок необходимо придавать форму минимальными изменениями сечений. При такой форме коронок отражение ударных волн будут минимальными, а это повышает производительность бурения и уменьшает число поломок инструмента.

4. Разработана новая конструкция штыревой комбинированной коронки-расширителя, которая обеспечивает формирование компенсационных шпуров в одну стадию (бурение шпуров и их расширение одновременно).

5. Конструкция коронки разработана таким образом, что обеспечивает максимальную передачу ударного импульса от поршня-ударника к породоразрушающим штырям, а также равномерное распределение напряжений по корпусу коронки, при этом обеспечивается повышенное продольное внедрение коронки, необходимое для разрушения породы.

6. Скорость бурения экспериментальной коронкой-расширителем 1,45 раза выше, чем у коронки-расширителя КРК.

7. Коронки с повышенными напряжениями на штырьках увеличивают эффективность разрушения горной породы.

**Направлениями дальнейших исследований являются** определение повышения эффективности применения комбинированных коронок при бурении компенсационных шпуров в промышленных условиях.

#### *Список литературы*

1. **Алимов О. Д.** Исследование процессов разрушения горных пород при бурении шпуров. Изд-во Томского университета, Томск, 1960.
2. **Арцимович Г.В.** Исследование и разработка породоразрушающего инструмента для бурения. Изд-во "НАУКА" СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ Новосибирск – 1978.
3. **Остроушко И. А.** Разрушение горных пород при бурении. Госгеолиз-дат, М., 1952.
4. **Царицын В. В.** Бурение горных пород. Гостехиздат, К., 1959.
5. **Иванов К.И.** Прохождение ударных импульсов через буровой инструмент. Горный породоразрушающий инструмент (Сборник статей), К., 1966.

Рукопись поступила в редакцию 18.03.13