

логію його застосування для аналізу гірничо-збагачувальних процесів переробки мінеральної сировини.

Ексергетичний аналіз окремих технологічних операцій, порівняння їх з альтернативними способами переробки дозволить оптимізувати процес гірничо-збагачувального циклу, на основі отримання продукції з максимальною придатністю для металургійного переділу. Ексергетичний метод аналізу дозволяє розглядати комплексно гірничо-металургійний процес на єдиній методологічній базі.

#### Список літератури

1. Turner, Wayne C., "Energy Management Handbook", 5 ed., (Lilburn, Georgia: The Fairmont Press, Inc., 2005), p.1-7.
2. В.С.Степанов, Т.Б.Степанова. Эффективность использования энергии. - Новосибирск: Наука, Сиб. отд. 1994. - 257 с.
3. Грищенко С.Г., Сталинский Д.В., Литвиненко В.Г. Применение метода сквозной энергоёмкости для анализа затрат энергоресурсов в горно-металлургическом комплексе// *Металлургическая и горнорудная промышленность*. - 2009.- №1.- С.110-114.
4. Расход энергоресурсов на производство металлургической продукции //В.Г.Литвиненко, Д.В.Сталинский, Г.Н.Грецькая и др. //Сталь.- 2005.- №7. - С. 124-128.
5. Определение энергоёмкости металлургической продукции// В.Г.Литвиненко, В.Н.Майорченко, Г.Н.Грецькая и др.//*Металлургическая и горнорудная промышленность*.// - 1997.- №xx. - С. 90-93.
6. Евсин В.Г., Першуков А.А., Першуков В.А. Топливо-энергетические затраты на окускование железорудного сырья // *Сталь*. - 1995.- №11. - С. 4-8.
7. М.А.Вердян, Д.А.Бобров, О.Е.Адаменко и др. Эксергетический анализ при снижении энергозатрат в технологии цемента (части 1-4)// *Цемент*.-1995.-№5/6.- С. 35-44.
8. Андрущенко А.И. Методика расчета эксергетической эффективности технологических процессов и производств. - Саратов: СПИ, 1989.
9. В.С.Степанов, Т.Б.Степанова. Эффективность использования энергии. - Новосибирск: Наука, Сиб. отд. 1994. - 257 с.
10. Szargut J, Morris D. R., Steward F. R. Exergy analysis of thermal, chemical and metallurgical processes. -N.Y.: Hemisphere, 1988.

Рукопис подано до редакції 12.03.12

УДК 622.233

А.А. ГУЛИВЕЦ, канд. техн. наук, доц., ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

### ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ ПОГРУЖНОГО ПНЕВМОУДАРНИКА

Изложены результаты исследований по обоснованию структуры и параметров погружного пневмоударника.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Одним из основных процессов при подземной добыче полезных ископаемых является бурение взрывных скважин (их доля составляет около 85% при подземной добыче) погружными пневмоударниками. При этом актуальным является вопрос о необходимости повышения ударной мощности применяемых пневмоударников для обеспечения необходимой сменной производительности.

**Анализ исследований и публикаций.** Для интенсификации процесса пневмоударного бурения рядом ведущих зарубежных фирм [1] "Atlas Copco" (Швеция), "Ingersoll-Rand" (США), "Holman" (Великобритания), "Böhler" (Австрия) и другими созданы оригинальной конструкции погружные пневмоударники, работающие на повышенном (до 1,4 - 2,4 МПа и более) давлении сжатого воздуха, который получают в шахтных условиях путем дополнительного сжатия воздуха, отбираемого из шахтной пневмосети, в специальных передвижных компрессорных установках. Анализ работы буровых комплексов фирм "Atlas Copco" и "Ingersoll-Rand" в условиях шахт Кривбасса показал необходимость создания такого отечественного бурового оборудования. Выполненными исследованиями в СССР (институты "ВНИПИрудмаш", НИПИгормаш, НИГРИ) показана перспективность работ в этом направлении.

**Постановка задачи.** На основании результатов выполненных исследований в нашей стране, изучения опыта зарубежных фирм и объективной необходимости увеличения сменной производительности бурового оборудования при бурении взрывных скважин в крепких породах в подземных условиях сформулирована цель - создание погружных пневмоударников с повы-

шенной ударной мощностью, работающие на повышенном давлении сжатого воздуха и обеспечивающие экономическую целесообразность их использования в условиях шахт Кривбасса.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

обосновать рациональную структуру пневмоударника;

сформулировать требования, которым должен отвечать пневмоударник в целом и его структурные элементы;

выполнить экспериментальные исследования и разработать конструкцию пневмоударника.

**Изложение материала и результаты.** В результате выполненных в институте ВНИПИ-рудмаш теоретических исследований [2] было установлено, что для условий Кривбасса для пород крепостью  $f=12-16$  оптимальным диаметром взрывных скважин является 127 мм.

Ближайшими размерами диаметра буровых скважин, которые применяются на практике, являются 105 и 125 мм.

Таким образом, создаваемые пневмоударники должны обеспечивать бурение взрывных скважин диаметром 105 и 125 мм. Кроме того, должна обеспечиваться возможность забуривания скважин под обсадную трубу диаметром 165 мм для системы отвода продуктов разрушения от буримой скважины.

Сам процесс бурения скважин погружными пневмоударниками заключается в разрушении горной породы породоразрушающим инструментом (лезвийного и штыревого типа), по хвостовику которого наносятся удары поршнем-ударником, удалении продуктов разрушения из призабойной зоны и транспортирования его потоком отработанного воздуха по затрубному пространству (между наружной поверхностью буровых штанг и стенками скважины) из скважины.

На основании анализа рабочего процесса погружных пневмоударников и условий их применения сформулированы требования, определяющие их структуру и параметры:

в пневмоударнике воздухораспределение должно быть золотниковым (золотник на поршне-ударнике);

энергия ударов, наносимых поршнем-ударником по хвостовику буровой коронки, должна обеспечивать эффективное разрушение породы;

для эффективной передачи энергии, накопленной в поршне-ударнике, его соударение с хвостовиком буровой коронки должно быть непосредственным (без промежуточных элементов);

конструкция пневмоударника должна обеспечивать надежный запуск пневмоударника при любом начальном положении поршня-ударника относительно корпуса и при любой ориентации пневмоударника в пространстве;

для сокращения длины участка разгона поршня-ударника до необходимой скорости эффективные площади поршня-ударника со стороны камер прямого и обратного хода должны быть максимально возможными для данного диаметра наружной поверхности корпуса пневмоударника, а в конце обратного хода поршня-ударника в камере прямого хода должна образовываться буферная полость;

при остановке пневмоударника в скважине по какой-либо причине конструкция пневмоударника не должна допускать попадания в его камеры бурового шлама и воды (при бурении в сильнообводненном массиве);

при снятии усилия подачи пневмоударника на забой его конструкция должна обеспечивать блокировку рабочего процесса и интенсивную продувку скважины при окончании процесса ее бурения;

все окна в воздухораспределительной трубке и каналы в поршне-ударнике должны быть выполнены симметрично по отношению к его оси с целью минимизации воздействия струй сжатого воздуха на поршень-ударник;

для уменьшения потерь энергии при перетекании воздуха по каналам и окнам (при полном их открытии) площадь их сечений должна быть по возможности максимальной и одинаковой (не должно быть местных сужений и расширений потоков);

отработанный воздух из камер пневмоударника должен подаваться непосредственно на забой скважины и обеспечивать эффективную очистку призабойной зоны от продуктов разрушения горной породы;

для увеличения срока службы гильзы (корпуса) пневмоударника, наружная поверхность которой со стороны буровой коронки подвергается интенсивному износу вследствие воздей-

вия турбулентного потока воздуха с частицами продуктов разрушения, ее конструкция должна позволять переставлять ее по отношению к буровой коронке;

количество (расход) воздуха, подаваемого в пневмоударник, должно быть достаточным для эффективного транспортирования продуктов разрушения в затрубном пространстве;

зазор между наружной поверхностью гильзы (корпуса) пневмоударника и стенками скважины должен быть достаточным ( $\Delta \geq 5$  мм) для свободного прохождения по нему частиц продуктов разрушения без переизмельчения;

конструкция пневмоударника должна быть технологичной при его изготовлении.

На основании обзора и анализа конструкций пневмоударников [1] установлено, что этим требованиям в той или иной мере отвечает ряд пневмоударников, например, пневмоударник [3].

Из отечественных разработок в наибольшей степени сформулированным требованиям отвечает пневмоударник [4], схема которого представлена на рис. 1.

Погружной пневмоударник (рис.1) состоит из цельного цилиндрического корпуса 1, размещенных в нем полого поршня-ударника 2 со ступенчатым центральным каналом 3, ступенчатой воздухораспределительной трубки 4 с заглушкой 5 (может быть снабжена отверстием для дополнительной подачи сжатого воздуха на продувку скважины), переходника 6, обратного клапана 7, демпфера 8, коронки 9 с выхлопной трубой 10, кольца 11, буксы 12, а также камер прямого 13 и обратного 14 ходов. На внутренней поверхности центрального ступенчатого канала поршня-ударника 2 выполнены верхняя кольцевая расточка 15 и нижняя кольцевая расточка 16, которая посредством каналов 17 в поршне-ударнике 2 постоянно гидравлически сообщена с камерой 13 прямого хода.

На наружной цилиндрической поверхности поршня-ударника 2 выполнены глухие продольные пазы 18, которые посредством каналов 19 в поршне-ударнике 2 гидравлически сообщены с верхней кольцевой проточкой 15.

На внутренней поверхности корпуса 1 в камере 13 прямого хода и в камере 14 обратного хода соответственно выполнены кольцевые расточки 20 и 21 с возможностью периодического их сообщения с продольными пазами 18 на поршне-ударнике 2.

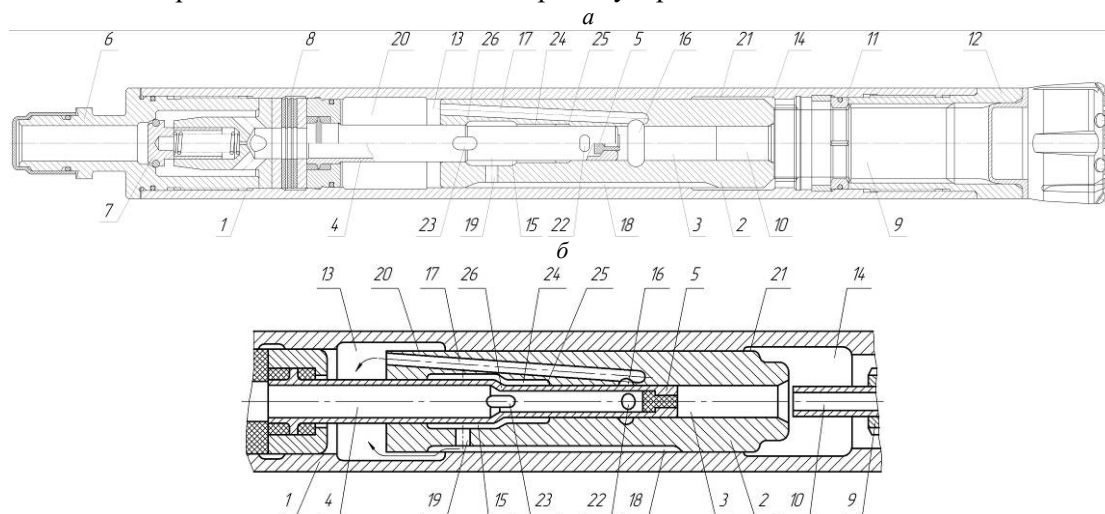


Рис. 1. Погружной пневмоударник

В нижней части ступени воздухораспределительной трубки 4 выполнены нижние 22 и верхние 23 радиальные окна. При этом верхние радиальные окна 23 расположены таким образом, что обеспечивается постоянная гидравлическая их связь с камерой 24, образованной поверхностью верхней ступени центрального канала поршня и нижней ступенью воздухораспределительной трубки; при этом камера 24 имеет кольцевую площадку 25, а нижняя ступень трубки 4 – кольцевую площадку 26.

Пневмоударник работает следующим образом.

При запуске энергоноситель из става штанг через переходник 6, обратный клапан 7 попадает в воздухораспределительную трубку 4.

Перед запуском поршень-ударник 2 может находиться в одном из трех положений: нижнем (открыты каналы подвода энергоносителя в камеру 14 обратного хода), верхнем (открыты ка-

налы подвода энергоносителя в камеру 13 прямого хода), промежуточном или крайнем верхнем (нет подвода энергоносителя ни в камеру 13 прямого, ни в камеру 14 обратного ходов).

При нахождении поршня-ударника 2 перед запуском в нижнем положении (рис.1, а) энергоноситель из воздухораспределительной трубки 4 через верхние радиальные окна 23 поступает в верхнюю кольцевую расточку 15 поршня-ударника 2, которая при этом сообщена с кольцевой камерой 24, откуда по каналам 19 и продольным пазам 18 поршня-ударника 2 поступает в кольцевую расточку 21 на внутренней поверхности корпуса 1, которая постоянно сообщена с камерой 14 обратного хода.

Под воздействием давления энергоносителя со стороны камеры 14 обратного хода поршень-ударник 2 начинает перемещаться в верхнее положение, вытесняя энергоноситель из камеры 13 прямого хода через каналы 17, нижнюю кольцевую расточку 16 и центральный канал 3 поршня-ударника 2 в выхлопную трубку 10. После закрытия нижней кольцевой расточки 16 поршня-ударника 2 нижней кромкой воздухораспределительной трубки 4 и прекращения сообщения камеры 14 обратного хода с продольными пазам 18 поршня-ударника 2 в камере 14 происходит расширение, а в камере 13 – сжатие энергоносителя.

При сообщении нижней кольцевой расточки 16 с нижними радиальными окнами 22 воздухораспределительной трубки 4 (рис. 1,б), а также продольных пазов 18 поршня-ударника 2 с верхней кольцевой расточкой 20 корпуса 1 осуществляется выпуск энергоносителя в камеру 13 прямого хода.

После схода поршня-ударника 2 с выхлопной трубки осуществляется выпуск энергоносителя из камеры 14 обратного хода.

После прекращения гидравлической связи верхних 23 и нижних 22 радиальных окон воздухораспределительной трубки 4, соответственно с верхней 15 и нижней 16 кольцевыми расточками поршня-ударника 2, дальнейшее движение его вверх до остановки осуществляется под действием инерционных сил при дополнительном сжатии энергоносителя в камере 13 прямого хода.

После остановки поршень-ударник 2 под действием сил давления энергоносителя на торцевую его поверхность со стороны камеры 13 прямого хода и на кольцевую площадку 25 со стороны кольцевой камеры 24 движется в нижнее положение. При этом открытие и закрытие каналов подвода и выпуска энергоносителя в камеры пневмоударника осуществляется в следующем порядке.

При сообщениях верхних 23 и нижних 22 радиальных окон воздухораспределительной трубки 4 соответственно с верхней 15 и нижней 16 кольцевыми расточками поршня-ударника 2 осуществляется выпуск энергоносителя в камеру 13 прямого хода. При этом из камеры 14 обратного хода происходит выпуск энергоносителя.

После входа выхлопной трубки 10 коронки 9 в нижнюю ступень центрального канала 3 поршня-ударника 2 в камере 14 обратного хода происходит сжатие энергоносителя.

После прекращения гидравлической связи нижней кольцевой расточки 16 с нижними радиальными окнами 22 воздухораспределительной трубки 4, а продольных пазов 18 поршня-ударника 2 с верхней кольцевой расточкой 20 корпуса 1 происходит расширение энергоносителя в камере 13 прямого хода.

После открытия нижней кольцевой расточки 16 поршня-ударника 2 нижней кромкой воздухораспределительной трубки 4 осуществляется выпуск энергоносителя из камеры 13 прямого хода по каналам 17 через нижнюю кольцевую расточку 16 и нижнюю ступень центрального канала 3 поршня-ударника 2.

При сообщении камеры 14 обратного хода с продольными пазам 18 поршня-ударника 2 происходит выпуск энергоносителя в камеру 14 обратного хода.

После нанесения удара поршнем-ударником 2 по хвостовику буровой коронки 9 рабочий цикл повторяется.

При нахождении поршня-ударника 2 перед запуском в верхнем положении рабочий процесс начинается аналогично изложенному при движении поршня-ударника из крайнего верхнего положения в нижнее до удара.

При нахождении поршня-ударника 2 перед запуском в промежуточном или в крайнем верхнем положении, когда нет подвода энергоносителя ни в камеру 13 прямого, ни в камеру 14 обратного хода, поршень-ударник 2 под действием сил давления энергоносителя на площадку 25 со стороны кольцевой камеры 24, которая постоянно гидравлически сообщена с верхними

радиальными окнами 23 воздухораспределительной трубки 4, перемещается в нижнее положение и открываются каналы подвода энергоносителя в камеру 14 обратного хода. После этого рабочий процесс протекает согласно изложенному.

При продувке скважины пневмоударник поднимается над забоем. Поршень-ударник 2 перемещает коронку 9 в крайнее переднее положение до упора буртика на коронке на кольцо 11.

Воздухораспределительная трубка 4 посредством верхних радиальных окон 23 сообщается при этом с камерой 13 прямого хода. Энергоноситель из воздухораспределительной трубки 4 через радиальные окна 23 поступает в камеру 13 прямого хода, откуда по каналам 17 через нижнюю кольцевую расточку 16 и центральный канал 3 поршня-ударника 2, выхлопную трубку 10 и каналы 9 истекает в атмосферу забоя. Происходит продувка скважины.

Одновременно при перемещении поршня 2 в крайнее нижнее положение передней его кромкой перекрывается подвод энергоносителя в камеру 14 обратного хода, а оставшийся в ней энергоноситель по шлицевым пазам в буксе 12, которые при этом открываются, выпускаются в атмосферу. Происходит блокировка поршня-ударника 2 в крайнем переднем положении.

Для возобновления процесса бурения необходимо пневмоударник осевым усилием прижать к забою.

Под руководством и при участии автора данной статьи были спроектированы, Опытным заводом института ВНИПИрудмаш изготовлены (в количестве 3 шт.) и испытаны пневмоударники, выполненные по данной схеме и работающие на давлении сжатого воздуха 1,8 МПа.

Сравнительные испытания в условиях шахты "Гигант" показали, что производительность пневмоударников, выполненных по вышеприведенной схеме, такая же, как и пневмоударников фирм "Atlas Copco" и "Ingersoll-Rand" в тех же условиях.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Таким образом, пневмоударники, выполненные по вышеобоснованной конструктивной схеме, наиболее полно отвечают предъявленным к ним требованиям и обеспечивают высокие технико-экономические показатели при их применении.

В связи с тем, что применяемые в данное время на шахтах пневмоударники не обеспечивают предъявляемых к ним требований и не созданы дожимные компрессорные установки, обеспечивающие повышения давления сжатого воздуха до 1,8...2,0 МПа, является целесообразным создание по такой же схеме пневмоударников, работающих при давлении сжатого воздуха 0,5...0,8 МПа, отбираемого из шахтной пневмосети.

#### *Список литературы*

1. Зарубежные конструкции погружных пневмоударников и передвижных компрессорных станций: Обзор / Бовдуй В.Г., Гуливец А.А., Кучма В.В., Бабич В.А. - М.: ЦНИИТЭИТЯЖМАШ, 1987. - 44 с. (Горное оборудование. Сер. 2. Вып.6).
2. Исследования по повышению технико-экономических параметров средств бурения за счет использования сжатого воздуха повышенного давления. (Промежуточный отчет), тема 82.3064228, инв. № 0284.0015734. Грицаев Н.Т., Кривой Рог, 1983. - 80 с.
3. Патент США № 4446229, кл. 173-17, опубл. 1984.
4. Авторское свидетельство СССР № 1689605, кл. E21 C3/24, E21 B4/14, опубл. 07.11.91. Бюл. №41.

Рукопись поступила в редакцию 23.02.12

УДК 622.232.74

Ю.С. РУДЬ, докт. техн. наук, проф., И.С. РАДЧЕНКО, канд. физ.-мат. наук, доц.,

С.Ю. ОЛЕЙНИК, ассистент, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

### **ТЕОРИЯ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД МАШИНАМИ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ С УЧЕТОМ ИХ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ**

Теоретическими методами решена задача определения параметров внешнего энергетического воздействия для разрушения горных пород, имеющих определенное кристаллическое строение и физико-механические свойства (модуль Юнга, напряжения сжатия и растяжения, плотность).

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Повышение производительности горных машин ударного действия, увеличение надежности и долговечности их узлов, снижение энергозатрат, необходимых для разрушения породы, достигается в основном за