

рыми описываются частоты наиболее заметных составляющих, соответствуют аналогичным для трехфазных асинхронных машин.

Выводы и направление дальнейших исследований. 1. Использование двухфазных асинхронных двигателей для приводов небольшой мощности более целесообразно, чем трехфазных, из-за простоты конструкции и дешевизны.

2. Алгоритмы пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции для случая питания двухфазного двигателя от трехфазного инвертора требует модификации порядка расчета времен включения базовых векторов.

3. Сравнение результатов моделирования, проведенных методом конечных элементов, с аналогичными, полученными путем моделирования двухфазного двигателя путем решения дифференциальных уравнений, полученных на основе теории идеализированной электрической машины, позволяют сделать вывод относительно того, что использование модели с сосредоточенными параметрами не приводит к существенному снижению точности, хотя и не учитывает наличие пространственных гармоник, но позволяет существенно упростить процесс расчета.

Список литературы

1. Синчук О.Н., Юрченко Н.Н., Чернышев А.А. и др. Комбинаторика преобразователей напряжения современных тяговых электроприводов рудничных электровозов / Под ред. О.Н. Синчука. – К., 2006. – 252 с.
2. Гузов Э.С., Омельченко А.В. Двухфазный асинхронный тяговый электропривод рудничных электровозов // *Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал.* – КрНУ, 2011. – Вип. 4/2011 (16). – С. 90–95.
3. Омельченко А.В. Модельные исследования двухфазного тягового электропривода рудничного электровоза // *Електромеханічні та енергозберігаючі системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць X Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів.* – Кременчук: КрНУ, 28–29 марта 2012. – С. 257–258.
4. Zaskalicky P., Dobrucky B. Analytical method of a torque ripple calculation for two-phase IM supplied by three-leg SPWM inverter // *International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*, 2014, pp. 731–736.
5. Blaabjerg F., Lugeanu F., Skaug K., Tonnes M. Two-phase induction motor drives // *IEEE Industry Applications Magazine*, Vol. 10/4, 2004, pp. 24–32.
6. Tomaselli L.C., Lazzarin T.B., Martins D.C., Barbi I. Application of the vector modulation in the symmetrical two-phase induction machine drive // *IEEE Power Electronics Specialists Conference*, 2005, pp. 1253–1258.
7. Kascak S., Zaskalicky P., Dobrucky B., Prazenica M. Two-phase space vector modulation of FOC controlled ASM fed by 2-phase VSI inverter // *15th International Power Electronics and Motion Control Conference*, 2012, pp. 131–135.

Рукопись поступила в редакцию 12.03.15

УДК 622.274.3.

А.С. ГРОМАДСКИЙ, Б.И. РИМАРЧУК, доктора техн. наук, проф.,

Ю.Г. ГОРБАЧЕВ, канд. техн. наук, доц.,

Д.И. КУЗЬМЕНКО, ассистент, Криворожский национальный университет

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЭТАЖНЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

Разработана и испытана в промышленных условиях новая технология бурения скважин, при которой компенсационная скважина увеличенного диаметра не заряжается, а выполняет во врубе роль дополнительной обнаженной полости. Уточнены параметры вруба и схемы бурения забоя. Разработан новый буровой инструмент для формирования компенсационных скважин как в одну, так и в две стадии, у которого скорость бурения выше в 1,9 раз, а скорость износа меньше в 1,53 раза. Рекомендованы формулы для расчета расстояния между взрывааемым шпуром и компенсационной полостью в зависимости от крепости породы. В результате применения новой технологии бурения скважин количество шпуров при бурении в забое по породам средней крепости $f=10-12$ по шкале проф. М.М. Протодьяконова уменьшено в 1,2 раза, количество шпуров подлежащих заряданию как для пород средней крепости $f=10-12$, так и для крепких пород $f=15-18$ уменьшено в 1,08 раз. КИШ при стандартной схеме проходки забоя сечением $5,7 \text{ м}^2$ по породам средней крепости $f=10-12$ составляет 0,75, а по крепким породам $f=15-18$ – 0,92. В результате применения новой технологии проходки забоя такого же сечения достигнуты коэффициенты использования шпуров по породам средней крепости $f=10-12$ (с одной компенсационной скважиной) – 0,9, а по крепким породам $f=15-18$ (с двумя компенсационными скважинами) – 1,0.

Проблема и ее связь с практическими задачами. Объем проведения подэтажных выработок, составляет 60% от общего объема проходческих работ на шахтах. Сложность проведения нарезных выработок обуславливается специфическими условиями, в которых осуществляется этот процесс, а именно зажимом забоя выработки при малой плоскости забоя, малый размер свободного пространства выработки, который не позволяет применять мощное буровое оборудование. Соответственно и эффективность взрывных работ в таких условиях относительно невысокая.

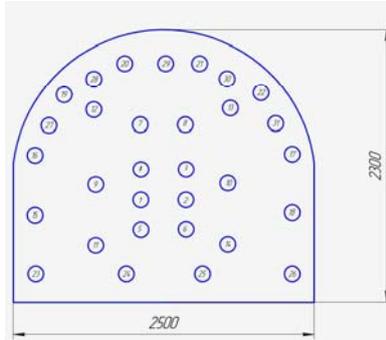


Рис. 1. Стандартная сетка шпуров забоя сечением 5,7 м²

Установлено, что КИШ при стандартной схеме проходки забоя (рис. 1) сечением 5,7 м² ш. им. Ленина по породам средней крепости $f=10-12$ составляет 0,75, а по крепким породам $f=15-18 - 0,92$. Это имеет серьезные негативные экономические последствия в связи с неэффективным использованием ресурсов, которые теряются на буровзрывные работы.

Анализ исследований и публикаций. Наиболее существенное влияние на показатели и темпы проведения горных выработок оказывает глубина отбойки за цикл [1].

Одним из наиболее эффективных путей, обеспечивающих увеличение глубины отбойки, является применение компенсационных скважин [2]. Применение этих скважин дают такие возможности:

- повышение мощности взрыва на каждом единичном шпуре. Это позволяет снизить общее количество пробуренных шпуров в проходческом забое и уменьшить количество ВВ, патронов боевиков, медных проводов;

- получается более гладкий и правильный по форме забой после взрыва;

- уменьшается выход негабарита и разброс породы при взрыве;

- образование оконтуривающих шпуров с максимальным уменьшением прочности на контуре выработки благодаря снижению монолитности компенсационными скважинами.

Необходимо отметить, что наряду выше отмеченными возможностями, которые предоставляет использование компенсационных скважин при их использовании возникает серьезная проблема. Эта проблема заключается в несовершенстве бурового инструмента для бурения компенсационных скважин.

Постановка задачи. Целью настоящей работы является разработка эффективного породоразрушающего инструмента для бурения компенсационных скважин, а также определение рационального расположения компенсационных скважин во врубе.

Изложение материала и результаты. Эффективность отбойки на компенсационное пространство, имеющее относительно небольшие размеры, зависит главным образом от рационального расположения компенсационных скважин во врубе. По этому рекомендуется для крепких пород с коэффициентом крепости $f=18$ расстояние между взрываемым шпуром и компенсационной полостью устанавливать в диапазоне следующих значений

$$a_1 = (4,5-5,5) D$$

где a_1 - расстояние между центрами первого "боевого" шпура и компенсационной полостью, см; D - диаметр компенсационной скважины или шпура, см.

В пластичных вязких породах (склонных к запрессовке) целесообразно принимать значение, близкое к нижнему пределу; в хрупких породах расстояние может быть несколько больше.

Аналогичные значения следует принимать и для схем с несколькими компенсационными скважинами (шпурами).

На рис. 2 показаны варианты рационального расположения компенсационных скважин во врубе при бурении на подэтажных выработках.

Для пород средней крепости $f=10-12$ целесообразно применять схему с одной компенсационной скважиной (рис. 2а), а для крепких пород $f=15-18$ - схему с двумя компенсационными скважинами (рис. 2б).

Известен способ образования компенсационных скважин методом расширения ранее пробуренных шпуров для превращения их в компенсационные скважины [3].

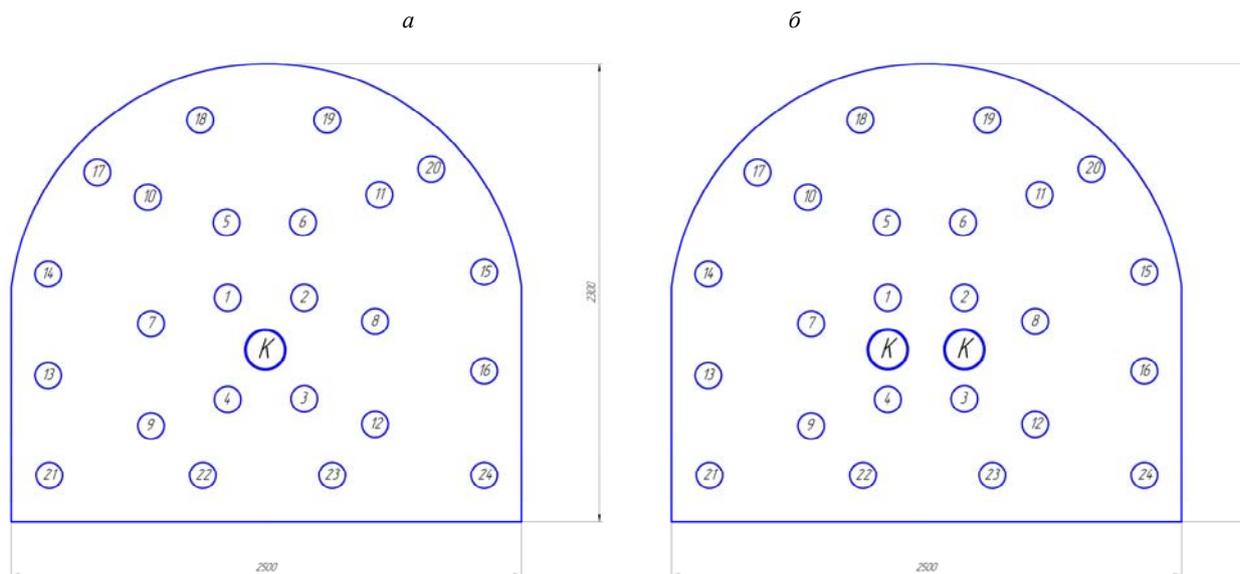


Рис. 2. Рациональное расположения компенсационных скважин во врубе:
a – с одной компенсационной скважиной; *б* – с двумя компенсационными скважинами

Для реализации данного способа предусмотрено применение коронки с расширяющей частью, в передней части которой используют направляющий центратор, вставляемый в предварительно пробуренный шпур в первой стадии - коронки КРР-65, серийно выпускаемой ЗАО «Бинур», рис. 3.



Рис. 3. Общий вид коронки КРР-65

К недостаткам данного способа следует отнести необходимость бурения в две стадии. В первой стадии бурится шпур коронкой $\varnothing 40-42$ мм, а затем осуществляется расширение скважины до $\varnothing 60-70$ мм коронкой с расширяющей частью КРР-65. У нее низкая эффективность передачи ударных импульсов от буровой штанги, по которой наносит удары поршень - ударник перфоратора. Ударные импульсы трансформируются в волну напряжения, которая пройдя буровую штангу через конусное сопряжение штанга-коронка, передается на корпус коронки КРР-65 и далее на ее расширяющую часть. На этом участке происходят основные потери энергии ударных импульсов из-за несовершенной формы перехода корпуса коронки на ее расширяющую часть, а также несовершенной лезвийной формы ее породоразрушающих элементов и нерациональной треугольной формой пазов для выноса шлама. Такая форма пазов не только не обеспечивает необходимую очистку забоя от шлама, который повторно измельчается твердосплавным вооружением коронки, увеличивая износ всех элементов коронки, но и снижает передачу энергии ударов поршня перфоратора на лезвия коронки.

Кроме того направляющий стержень вследствие того, что он не прижат к забюю, а находится в уже пробуренном шпуре под действием ударных волн, проходящих через коронку, часто отсоединяется от коронки и остается в расширенной скважине.

Это происходит потому, что волна напряжения, проходящая через корпус расширяющей части коронки, на несколько микрон увеличивает его в размере и, соответственно, увеличивает диаметр внутреннего конуса в нем. Поэтому натяг конусного сопряжения постепенно ослабляется и направляющий стержень отсоединяется от корпуса в среднем 1 раз после расширения двух шпуров.

Для его извлечения непроизводительно тратится время, снижая эффективность процесса расширения шпуров, что установлено авторами.

Разработана штыревая комбинированная коронка-расширитель, которая обеспечивает возможность бурения компенсационной скважины в одну и две стадии рис. 4.



Рис. 4. Штыревая комбинированная коронка-расширитель



Рис. 5. Результаты сравнительных испытаний по породам крепостью $f=10$

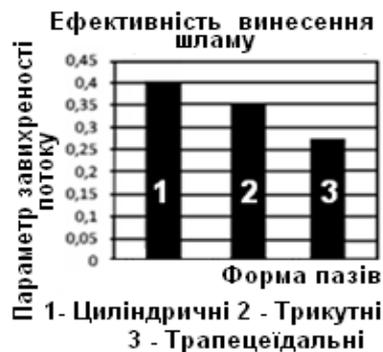


Рис. 6. Эффективность выноса шлама

Опытные образцы предложенных коронок, были изготовлены и испытаны в производственных условиях на ш. им. Фрунзе ПАТ «Евраз Суха Балка» г. Кривой Рог при бурении породы средней крепости $f=10$ по шкале проф. М.М. Протодьяконова с использованием разработанной схемы разбуривания, см. рис. 2, по сравнению с коронкой - расширителем KPP-65.

Как видно из рис. 5, наименьшие затраты времени (11 мин.) на бурение компенсационной скважины приходятся на предложенный расширитель (тип 1). Это вместе с бурением шпура коронкой Ø 41 мм в первой стадии. У предложенной одностадийной коронки (тип 2) - 16 мин. Самые большие затраты времени приходятся на бурение расширителем KPP-65 способа - прототипа - 18 мин. вместе со временем, затрачиваемым на бурение подготовительного шпура. Это без учета времени, которое приходится тратить на извлечение периодически отсоединяющегося направляющего стержня. Кроме того, из-за более низкой эффективности выноса шлама расширителя KPP-65, у которого треугольные пазы для выноса шлама (см. рис.6). При этом у него самая высокая скорость износа 2,3 г на 1 пог. м пробуренной скважины, рис. 7.



Рис. 7. Результаты сравнительных испытаний по породам крепостью $f=10$

Испытания по крепким породам $f=18$ проведены на ш. им. Ленина ПАТ «Кривбассжелезрудком» с использованием разработанной нами схеме разбуривания см. рис. 2.

При одностадийном бурении компенсационной скважины предложенной комбинированной коронкой (тип 1, показанной на рис. 4) и бурении в две стадии предложенным расширителем (тип 2), как видно из рис. 8 в этих условиях скорость бурения как в одну стадию комбинированной коронкой опережающей коронкой меньшего диаметра, так и в две стадии, суммарная скорость бурения с учетом бурения опережающего шпура и расширения скважины с одностадийным способом одинакова - 0,134 м/мин.

Это значит, что при бурении крепкой породы целесообразно применять одностадийный способ бурения компенсационной скважины.

При этом для данной крепости породы с использованием способа - прототипа скорость разбуривания скважины в предварительно пробуренном шпуре Ø 41 мм расширителем KPP-65 практически равна нулю.

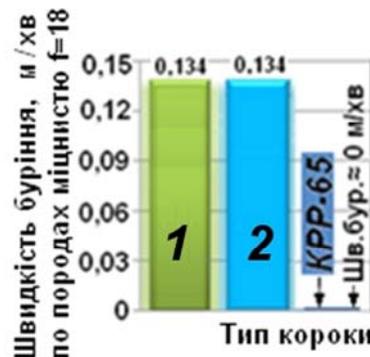


Рис. 8. Результаты сравнительных испытаний по породам крепостью $f=18$

Это происходит из-за несовершенной формы его корпуса и пазов для выноса шлама, а также лезвийной формы породоразрушающих элементов, на которых в этой связи напряжение на них для разрушения крепкой породы недостаточно.

Выводы. Одним из наиболее эффективных путей, обеспечивающих увеличение глубины отбойки, является применение компенсационных скважин;

Разработана и испытана в промышленных условиях новая технология бурения скважин, при которой компенсационная скважина увеличенного диаметра не заряжается, а выполняет во врубе роль дополнительной обнаженной полости.

Уточнены параметры вруба и схемы разбуривания забоя (схемы бурения с одной и двумя компенсационными скважинами прилагаются).

Скорость бурения экспериментальной коронки - расширителя в 1,9 раз выше, чем у серийно выпускаемой коронки КРР-65;

Скорость износа серийно выпускаемой коронки КРР-65 выше, чем у экспериментальной коронки - расширителя;

По сравнению со стандартным паспортом БВР количество шпуров при бурении в забое по породам средней крепости $f=10-12$ по шкале проф. М.М. Протоdjeяконова уменьшено в 1,2 раза.

По крепким породам $f=15-18$ количество шпуров в забое по стандартному паспорту БВР и новой технологии, включая две компенсационные скважины, одинаково - по 26 шпуров.

Количество шпуров подлежащих заряданию как для пород средней крепости $f=10-12$, так и для крепких пород $f=15-18$ уменьшено в 1,08 раз.

КИШ при стандартной схеме проходки забоя сечением $5,7 \text{ м}^2$ по породам средней крепости $f=10-12$ составляет 0,75, а по крепким породам $f=15-18-0,92$.

В результате применения новой технологии проходки забоя такого же сечения достигнуты коэффициенты использования шпуров по породам средней крепости $f=10-12$ (с одной компенсационной скважиной) - 0,9, а по крепким породам $f=15-18$ (с двумя компенсационными скважинами)

Список литературы

1. **Рабинович М.И.** Введение в теорию колебаний и волн / М.И. Рабинович, Д.И. Трубецков. – М.: Регулярная и хаотическая механика, 2000. – 560 с.
2. **Каварма И.И.** Новый штыревой породоразрушающий инструмент для бурения скважин на шахтах Кривбасса / И.И.Каварма, А.А.Хруцкий // Разработка рудных месторождений. - Кривой Рог: КТУ. - 2002. - Вып. 78.
3. **Keskinen E., Karvinen T., Montonen J., Heinonen M.** Dynamics of stress wavep during percussive drilling process. In: Proceedings of 13th World Congress in Mechanism and Machine Science. Guanajuato 2011, 1–5.
4. **Luiz F. P.** Franca A bit–rock interaction model for rotary–percussive drilling. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 2011; 48(5):827- 835.
5. **Lundberg B., Okrouhlik M.** Efficiency of a percussive rock drilling process with consideration of wave energy radiation into the rock. International Journal of Impact Engineering 2006; 32(10):1573–1583.
6. **Жуков И.А.** Формирование упругих волн в волноводах при ударе по ним полукатеноидальными бойками: Автореферат дис. канд. техн. наук. – Томск, 2005. – 132 с.
7. **Рындин В.П.** Определение энергетических параметров и совершенствование динамики ударных систем бурильных машин: Автореферат... дис. докт. техн. наук. – Кемерово, 2005. – 330 с.
8. **Губанов Е.Ф.** Ударное разрушение хрупких сред при использовании в них отверстий без поворота инструмента: Автореферат дис... канд. техн. наук. – Томск, 2003. – 22 с.
9. **Дерюшева В.Н.** Модели пневмогидравлического ударного узла с учетом свойств формирователя импульса и нагрузки: Автореферат ... канд. техн. наук. – Томск, 2009. – 19 с.
10. **Жуков И.А.** Формирование упругих волн в волноводах при ударе по ним полукатеноидальными бойками: Автореферат дис. канд. техн. наук. – Томск, 2005. – 132 с.
11. **Чувиллин А.М., Ермаов Г.Т., Соколов Н.П. и др.** Применение коронок – расширителей для бурения компенсационных скважин на проходческих работах, Минцветмет СССР, ЦНИИ экономики и информации цветной металлургии. Обзорная информация. Выпуск 6. М. 1988. 39 с.

Рукопись поступила в редакцию 26.03.15