

ров обогатительных аппаратов (11).

Данный способ управления может быть основой для разработки системы управления с нелинейными регуляторами и векторными принципами управления гидроциклоном.

Это актуально для различных сложных динамических объектов, особенно если измерению доступны только входные и выходные параметры объекта управления.

Для сравнения предложены результаты регулирования давления в системе с традиционным ПИД-регулятором, с настройкой по программе оптимальной динамической коррекции в МАТ-LAB, и нелинейным векторным регулятором.

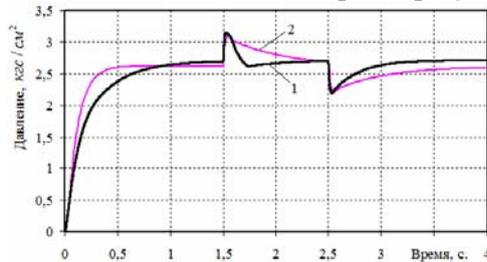


Рис. 3. Моделирование переходного процесса САУ с нелинейным векторным регулятором data1, классический ПИД регулятор data2

**Выводы.** Предложенный способ управления, процессом гидравлической классификации в гидроциклонах работающих в замкнутом цикле помола-классификации, основанный на эффекте пространственного перераспределения частиц твердой фазы в поле высокоэнергетического ультразвука, который по своей

аналогии подобен эффекту пространственного перераспределения этих частиц под воздействием комплекса сил, действующих в поле центробежных сил гидроциклона, позволяет получать информацию о сложном динамическом объекте в режиме реального времени.

Реализовывать эффективное управление, формировать высокие качественные и количественные показатели цикла, привлекать полученную информацию в системы управления смежными по технологической цепи аппаратами, повысить энергоэффективность цикла, и качество полученного продукта.

#### Список литературы

1. **Зубков А.** и др. Автоматизация процессов обогащения руд цветных металлов. - М. : Недра , 1967 , с.112 – 113.
2. Патент РФ № 2430788 Опубликовано: 10.10.2011 Бюл. № 28
3. **Моркун В.С., Поркуян О.В.**, Ультразвуковые поверхностные волны Лэмба и Лява в измерительных системах.- Кривой Пор,2006,с.142-177.
4. **Slack, M.D., Prasad, R. O., Bakker, A. and Boysan, F.** (2000). Advances in Cyclone Modeling Using Unstructured Grids, Chemical Engineering Research and Design. 78: 1098-1104.
5. **A. Farzanegan1, M. Gholami2, M.H. Rahimyan.** Multiphase flow and tromp curve simulation of dense medium cyclones using Computational Fluid Dynamics Journal of Mining & Environment Vol.4, No.1, 2013, 67-76
6. **Безик Д.А.** Автоматизация расчета параметров циклона на основе математического моделирования процесса пылеулавливания, Автореферат дисс. к.т.н., Брянск 2000.

Рукопис подано до редакції 11.02.14

УДК 622.235.522

А.В. МОРГУН, зам. главного инженера по техническим вопросам, ПАО «ЕВРАЗ Суха Балка»  
С.М. ЧУХАРЕВ, канд. техн. наук, доц., Криворожский национальный университет

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТБОЙКИ МАССИВА СКВАЖИНЫМИ ЗАРЯДАМИ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Проанализирована возможность и целесообразность перехода на отбойку массива скважинными зарядами эмульсионных взрывчатых веществ в условиях подземного Кривбасса. Предложен комплексный подход, включающий использование конструкции скважинных зарядов с воздушными осевыми полостями и способа подготовки скважинного заряда к взрыву, обеспечивающего усиление инициирующего импульса от патрона-боевика к заряду взрывчатого вещества. Использование элементов комплексного подхода позволит добиться повышения эффективности отбойки массива скважинными зарядами при использовании рассыпных ЭВВ.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Повышение эффективности отбойки массива скважинными зарядами при использовании рассыпных ВВ всегда было одним из приоритетных вопросов для технологии подземной добычи руды. Особенно этот вопрос актуален в связи с переходом на бестротиловые ВВ и существенным удорожанием ВВ, применяемых при обрушении руды в условиях подземного Кривбасса.

**Анализ исследований и публикаций.** Эффективность использования бестротилового ВВ при отбойке горного массива скважинами рассмотрены в работах [1-5]. Ряд публикаций посвя-

щен освещению непосредственно бестротилового эмульсионного ВВ «Украинит» [8-12] и, в частности, разработке способов сенсбилизации ЭВВ Украинит [12,13]. Проблеме использования скважинных зарядов с осевой полостью уделено внимание в работах [14-18]. Вопросы усиления инициирующего импульса от патрона-боевика к заряду ВВ рассмотрены в работах [19-21].

**Постановка задачи.** В связи со снижением эффективности работы ЭВВ в скважинах большой длины, обусловленном затуханием детонации по длине скважины необходимо обеспечить повышенный начальный импульс детонации от патрона-боевика к заряду взрывчатого вещества

**Изложение материала и результаты.** В нашей стране для промышленных нужд ежегодно расходуется свыше 140 тыс. т взрывчатки, из которых более 70 % используют предприятия горнорудной отрасли.

Реализуя государственные программы улучшения экологии и окружающей среды на предприятиях, использующих взрывчатые вещества для отбойки руды при проходке выработок и очистной выемке, ставят задачу перехода на бестротилловые экологически чистые взрывчатые вещества без потери качества отбойки рудного массива.

На предприятиях Кривбасса с добычей руды открытым способом переход на использование бестротилового взрывчатого вещества осуществлен практически на 100%, чего нельзя сказать о горнорудных предприятиях с подземной добычей руды.

Использование водонаполненных ВВ, нашедших широкое применение при зарядании нисходящих скважин большого диаметра на карьерах, весьма затруднено при зарядании вертикальных и наклонных скважин диаметром 105-110 мм для отбойки рудного массива в подземных условиях. Основными причинами здесь являются: отсутствие эффективной зарядной техники и проблемы с удержанием гелеобразных ВВ в таких скважинах. Поэтому, в настоящее время для формирования скважинных зарядов на шахтах используются рассыпные взрывчатые вещества. На отбойке крепких и обводненных горных пород применяется в основном тротило-содержащий зерногранулит 79/21. Из бестротилосодержащих ВВ в последнее время на первичной отбойке находят широкое применение экологически безопасная взрывчатка класса простейших «Украинит-АНФО». В составе «Украинит-АНФО» входит прошедшая термическую обработку аммиачная селитра и масляный компонент. «Украинит-АНФО» в сравнении с существующими аналогами игданитов имеет более высокую степень абсорбции гранулами аммиачной селитры, что позволяет увеличить срок хранения без ухудшения его физических и взрывных способностей. Однако для обеспечения эффективной работы заряда «Украинита-АНФО» в скважине необходимо обеспечить повышенный начальный импульс детонации. С этой целью в качестве патронов-боевиков используются ВВ обладающие более высокими бризантными свойствами, в частности патронированный аммонит 6ЖВ. В 2014 г. на шахтах ПАО «ЕВРАЗ СУХА БАЛКА» планируется довести объем «Украинита-АНФО» до 35% от общего объема ВВ, применяемого на первичной отбойке.

Вопрос повышения эффективности отбойки массива скважинными зарядами при использовании рассыпных ВВ всегда был одним из приоритетных для технологии подземной добычи руды.

В настоящее время, в связи с высокой ценой на промышленные взрывчатые вещества, этот вопрос стоит особенно остро. В качестве технических идей, позволяющих повысить эффективность взрыва удлиненных скважинных зарядов, сформированных из рассыпных ВВ, и одновременно снизить расходы ВВ, предлагается:

использовать конструкцию скважинных зарядов с воздушными осевыми полостями;

использовать способ подготовки скважинного заряда к взрыву, обеспечивающий усиление инициирующего импульса от патрона-боевика к заряду взрывчатого вещества [22].

Применяемые на шахтах Кривбасса системы отработки рудных блоков требуют разбуривания скважин на глубину до 35-40 м. При взрывании сплошных зарядов рассыпных ВВ в скважинах такой длины происходит затухание детонации по длине скважины. Это крайне негативно сказывается на полноте отбойки массива и качестве дробления руды. Удлиненные скважинные заряды рассыпных взрывчатых веществ с осевой полостью характеризуются высокоскоростным детонационным процессом. В них развивается двухслойная детонация, ведущим элементом которой является ударная волна в газовом слое (канальная волна). Такая детонационная волна инициирует разложение окружающего взрывчатого вещества и сама поддерживается за

счет обжигания газового слоя продуктами взрыва. Ее скорость оказывается выше, чем в сплошном заряде. В результате обеспечивается инициирование заряда ВВ по всей длине скважины и достигается более равномерное качественное дробление массива руды, особенно у дна скважины. Возникшая в процессе детонации заряда ВВ с осевой полостью кумулятивная струя продуктов взрыва после удара об дно скважины генерирует скачок давления, способствующий инициированию в ВВ встречной детонационной волны, повышающей энергию взрыва.

Шахты Кривбасса имеют положительный опыт применения скважинных зарядов с осевой полостью на первичной отбойке массива. В ГП «НИГРИ» были сконструированы специальные насадки, цель которых направить поток смеси сжатый воздух-рассыпное ВВ с помощью рассекателя потока и направляющих окон в пространство между стенкой скважины и осевой направляющей трубкой, уложить и уплотнить ВВ до устойчивого состояния. Экономия ВВ при таком способе формирования заряда за счет создания в нем воздушной полости составляет порядка 20%. Аналогичными свойствами также обладают заряды ВВ сформированные в скважине с продольной боковой кумулятивной воздушной полостью имеющую форму сегмента круга или вписанного в круг эллипса.

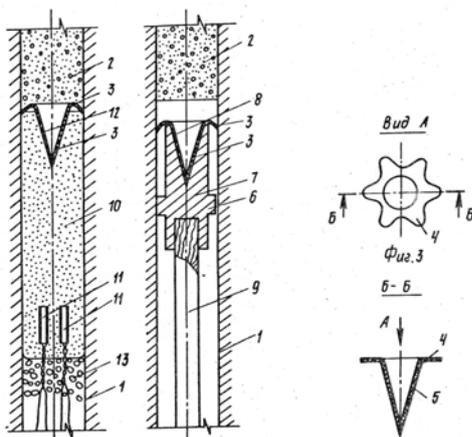
Для усиления инициирующего импульса от патрона-боевика к заряду взрывчатого вещества, предлагается использовать способ подготовки скважинного заряда к взрыву, который включает в себя заполнение скважины 1 взрывчатым веществом 2, закрепление его пыжом 3, изготовленным из эластичной пластмассы в виде фланца 4, выполненным заодно с полым концом 5.

Вводится такой пыж в скважину при помощи забойника, имеющего центрирующее кольцо 6 вокруг цилиндрического наконечника 7 и конусообразное углублением 8 в торце наконечника, соответствующее форме пыжа. Наконечник жестко насажен на деревянную, металлическую или пластмассовую штангу 9 и после закрепления взрывчатого вещества пыжом извлекается из скважины. После этого в торце патрона-боевика 10, противоположном размещению инициатора 11 образуют конусообразное кумулятивное углубление 12, соответствующее форме пыжа и вводят такой патрон-боевик в скважину. Закрепление патрона-боевика в скважине осуществляется забойкой 13. Диаметр основания полого конуса пыжа может быть различным в зависимости от диаметра скважины и жесткости материала, из которого изготавливается пыж.

По этим условиям его размер может быть равен 0,3-0,5 диаметра скважины.

Высоту полого конуса рационально принять равной диаметру скважины. При таком соотношении размеров конуса достигается максимальная скорость кумулятивной струи, создаваемой выемкой в патроне-боевике. Угол раствора конуса в этом случае составит 27-35°. Кумулятивные углубления в торце патрона-боевика выполняют при помощи полого конца или специальной оправкой, изготовленной по форме пыжа. Конусообразное углубление в торце наконечника забойника выполняют с таким же углом раствора, как и у полого конуса, а центрирующее кольцо на наконечнике, свободно входящее в скважину, располагают на расстоянии 0,4-2 диаметров скважин от торца наконечника, что позволяет обеспечить фиксацию положения вершины полого конуса в направлении к устью скважины и по оси скважины.

При перемещении пыжа по скважине таким забойником и при закреплении взрывчатых веществ пыжом лепестки фланца будут свободно изгибаться и не задевать центрирующего кольца наконечника забойника.



При взрывании патрона-боевика в заряде такой конструкции начальный импульс инициирования заряда значительно возрастает за счет кумулятивного эффекта. При этом повышается надежность детонации заряда ВВ, что особенно важно при использовании беспротилового ВВ. В обводненных скважинах в такой способ обеспечивается возможность надежного удержания сформированного заряда ВВ до его взрывания.

Наибольший эффект будет достигаться при одновременном использовании предлагаемых способов формирования и детонации скважинных зарядов.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Комплексный подход к решению вопроса, вклю-

чающий использование конструкции скважинных зарядов с воздушными осевыми полостями и способа подготовки скважинного заряда к взрыву, обеспечивающего усиление инициирующего импульса от патрона-боевика к заряду взрывчатого вещества позволит добиться повышения эффективности отбойки массива скважинными зарядами при использовании рассыпных ЭВВ.

### Список литературы

1. **Крысин Р.С., Домничев В.Н.** Современные взрывчатые вещества местного приготовления// – Днепропетровск: Наука и образование, 1998.
2. **Закалинский В.М.** Перспективы взрывного разрушения массивов горных пород – основа прогресса в горном деле России.//Вестник Российской Академии естественных наук. 2011/4, с.24-29
3. **Meуer, R.** Explosives. Монография / R.Meуer. - 1 Aufl. - Weinheim ; New York : Verl. Chemie, 1977.
4. **Оверченко М.Н.** Автореф. дисс. канд. техн. наук «Рациональные конструкции зарядов эмульсионных ВВ, обеспечивающие эффективное дробление горных пород на высоких уступах карьеров» // М. - 2003.
5. **Магомедов Т.М.** Автореф.т дисс. канд. техн. наук «Обоснование параметров зарядов эмульсионных взрывчатых веществ, обеспечивающих повышение эффективности дробления горных пород на карьерах Ленинградской области» // Санкт–Петербург, 2012
6. **Маторин, А.С., Павлютенков В.М.,** Водосодержащие взрывчатые вещества местного приготовления. Монография //Екатеринбург : УрО РАН, 2004.
7. **Ступник Н.И., Калининченко В.А., Федько М.Б., Мирченко Е.Г.** Перспективы использования безтротиловых взрывчатых веществ на рудниках с подземной добычей полезных ископаемых // Научный вестник Национального горного университета. - Днепропетровск. - №1 ,2013.
8. **Купрін В.П., Купрін О.В., Іщенко М. І., Савченко М.В., Коваленко І.Л.** Вибухова речовина «Україніт-АНФО». Публікація відомостей про видачу патенту: 25.04.2013, Бюл.№ 8
9. **Купрін В.П., Вілкул О.Ю, Іщенко М.І., Колтунов О.В.** Оцінка детонаційних характеристик емульсійних вибухових речовин марки «Україніт» та «Емоніт» // Информационный бюллетень Украинского союза инженеров-взрывников.-2012, №1.- С. 5-9.
10. **Крысин Р.С., Куприн В.П., Шведов К.К.** Детонационные характеристики эмулькома и украинита //Вісник Кременчуцького державного політехнічного ун-ту, 2005. - Вип. 5. - С 101-104.
11. **Горбонос М.Г.** Применение тяжелых ANFO на гранитных карьерах Канады. Сб. «Взрывное дело», №91/48, М., 1998. - С.115-117.
12. **Куприн В.П., Іщенко Н.И., Вілкул А.Ю., Савченко Н.В., Монаков В.Ф., Колтунов О.В., Коваленко І.Л.** Разработка эмульсионных ВВ марки «Украинит» // Информационный бюллетень Украинского союза инженеров-взрывников. - №3, 2012,
13. **Kovalenko I, Kuprin A, Kuprin V.** Nonaerations sensibilization of emulsive explosives // New trends in research of energetic materials. – VII International sem.- Pardubice (the Czech Republic), 2004. – P. 512-516.
14. **Салганик В.А.,Воротеляк Г.А.,Митрофанов В.В., Филиппов Н.Ф.** Скважинные заряды взрывчатых веществ с осевой воздушной полостью //К.: Техніка, 1986.
15. **Бабаянц Г.М.,Мартыненко В.П.,Черненко А.Р. и др.** Скважинная отбойка руды с использованием зарядов с осевой полостью//М.: Черметинформация, 1984.
16. **Шевкун Е.Б., Лещинский А.В.,** Способ формирования воздушных промежутков в скважине с расширенной зарядной полостью и устройство для его применения (патент РФ № 2317517)  
Опубликовано: 20.02.2008: Бюл. №5.
17. **Бетин В.Д.** Геометрическое моделирование изменения формы воронки взрыва скважинных зарядов// В сб. Разраб. рудн. месторожд. Кривой Рог: КТУ, 201. - Вып. 94. - С. 51-55
18. **Клочков В.Ф., Бетин В.Д.** Регулирование отбойки горных пород комбинированными зарядами с боковой полостью. // Разработка рудных месторождений. – Вып. 85. – С. 51-55.
19. **Загуменнов А.С., Титова Н.С., Фадеенко Ю.П. Чистяков В.П.** Детонация удлиненных зарядов с полостями.//ПМТФ, 1969, № 1, с. 79–83.
20. **Ансимов В.Н., Франтов А.Е.** Применение кумулятивных зарядов с плоской симметрией для разрушения горных пород и проходки горных выработок.//Ч.2. Горный информационно-аналитический бюллетень, М., изд. МГГУ, № 11, 2006, с. 100–102.
21. **Зольников Ю.Г., Желунин Ю.П., Иванов А.В., Драчев С.В., Гильманов Р.А. , Франтов А.Е., Макаров А.В.** Новые конструкции зарядов для горных работ.//Сб. научных трудов Четвертой международной научной конференции "Физические проблемы разрушения горных пород", М., ИПКОН РАН, 2005. - С. 359–362.
22. **Олейник Н.П., Петров Л.А., Моргунов А.В.** А.С.1526356 А1. «Способ подготовки скважинного заряда к взрыву»// Непубликуемое в открытой печати, 1987.

Рукопись поступила в редакцию 11.02.14