

## **АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВЫЕМКИ УГЛЯ ВЫСОКОНАДЕЖНЫМИ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫМИ ЛАВАМИ В РАЗЛИЧНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

Проведено аналітичні дослідження процесу виїмки вугілля високонадійними високонавантаженими лавами у різних гірничо-геологічних умовах, показана специфіка зміни впливу параметрів на показники ефективності процесу з підвищенням газовиділення і зменшенням потужності розроблювального пласта.

## **THE ANALYTICAL RESEARCHES OF PROCESS OF A COAL WINNING BY THE HIGH-RELIABLE HIGH-LOADED STOPE IN DIFFERENT GEOLOGICAL CONDITIONS**

The analytical researches of process of coal winning by the high-reliable high-loaded stopes in different geological conditions are conducted, the specificity of a modification of influence of arguments on efficiency of process with increase of gas content and reduction of a seam thickness is exhibited.

Переход горных работ на более глубокие горизонты влечет за собой комплекс горных проблем связанных с ухудшением горно-геологических условий разработки и обусловленных в первую очередь повышением газовыделения, невыдержанным залеганием пластов, неустойчивостью нижних слоев кровли, слабой почвой, невысокой надежностью машин, оборудования и процессов добычи угля в целом, неравномерностью поступления грузопотоков на вход транспортной системы шахты и множеством других факторов. Все это определяет снижение эффективности процессов подземной добычи угля, обуславливает нестабильность работы угольной шахты как сложной системы и понижает технико-экономические показатели ее производственной деятельности.

В тоже время, одним из приоритетных направлений повышения эффективности процессов добычи угля является разработка, создание и внедрение высокопроизводительной техники нового технического уровня, способной обеспечивать высокие нагрузки на очистные и подготовительные забои и осуществлять надежный транспорт горной массы до шахтной поверхности [1].

Важной является задача исследования процесса добычи угля высоконадежными высоконагруженными лавами и в сложных горно-геологических условиях, выявления главных факторов, обуславливающих повышение эффективности процесса и определения характера их изменения при широких диапазонах варьирования. Актуальны данные исследования для шахт, разрабатывающих тонкие пологие пласты западного региона Донбасса с переходом горных работ на более глубокие горизонты.

Проведение исследований процессов добычи угля в реальных условиях шахт, при широких диапазонах варьирования параметрами, связано со значительными трудностями и в большинстве случаев неосуществимо. Существующие аналитические методы исследований зачастую оперируют интегральными

показателями и не учитывают всего комплекса взаимосвязанных параметров процессов, а также их одновременного влияния на качественные и количественные показатели добываемого угля [2-4]. С развитием средств аппаратного, системного и программного обеспечения в последнее время появились новые, более широкие, возможности применения метода имитационного компьютерного моделирования для исследования процессов добычи угля [5-7]. Изложенная в работе [8] модель, отличается учетом взаимосвязи параметров процессов, их взаимодействия, случайной природы протекания и влияния на качественные и количественные показатели добытой горной массы, позволяет моделировать работу угольной шахты с глубокой степенью детализации и проводить эксперименты, которые неосуществимы в реальных условиях шахт. Так, учет в модели параметров вентиляции наряду с параметрами надежности процесса выемки, параметрами процесса резания, забойного конвейера, мощностными характеристиками выемочного комбайна и др. позволяет более точно прогнозировать влияние газового фактора на эффективность процессов добычи при переходе горных работ на более глубокие горизонты, а учет комплекса факторов осложняющих добычу угля позволяет прогнозировать их влияние на показатели эффективности процессов с ухудшением горно-геологических условий разработки.

С помощью модели проведены аналитические исследования процесса выемки угля. Для исследования процесса выемки угля высоконадежными высоконагруженными лавами проведена серия экспериментов, исходные данные которых представлены в табл. 1.

Для исследований выбран метод факторного планирования экспериментов с использованием полных факторных планов типа  $2^k$ , при варьировании  $k$  на двух уровнях [9]. В экспериментах по факторам надежности процесса (элементов добычного комплекса, по горным факторам и случайным регламентным перерывам) среднее время наработки на отказ принято 2 часа (120 мин), среднее время восстановления – 5 мин. Интервал варьирования мат. ожидания мощности пласта соответствует диапазону изменения данного параметра для тонких пластов, среднее время наработки на отказ (2-3 часа) и среднее время восстановления выемочной машины (5-10 мин) соответствует уровню высокой надежности для горной техники, ширина захвата характерна используемой для отработки тонких пластов технологии узкозахватной выемки, интервал варьирования длины лавы и продолжительности концевых операций охватывает существующий диапазон данных параметров для условий шахт Западного Донбасса, интервал варьирования мощности двигателей комбайна соответствует высокопроизводительной технике нового технического уровня, а относительной метанообильности пласта соответствует шахтам от негазовых (эксперимент 1) до сверхкатегорных по газу (эксперименты 4,5).

Таблица 1 - Исходные данные экспериментов

Наименование фактора (обозначение)	Ед. изм.	Основной уровень	Интервал варьирова ния	Нижний уровень	Верхний уровень
1. Мат. ожидание вынимаемой мощности пласта (X1)	м	0,95	0,5	0,7	1,2
2. Среднее время наработки на отказ комбайна (X2)	мин	150	60	120	180
3. Среднее время восстановления комбайна (X3)	мин	7,5	5	5	10
4. Мат. ожидание ширины захвата выемочной машины (X4)	м	0,7	0,2	0,6	0,8
5. Машинная длина лавы (X5)	м	170	100	120	220
6. Продолжительность концевых операций (X6)	мин	15	20	5	25
7. Суммарная мощность двигателей комбайна (X7)	кВт	500	200	400	600
8. Относительная метанообильность пласта (X8):					
эксперимент № 1	м <sup>3</sup> /т	3,5	3	2	5
эксперимент № 2		7,5	5	5	10
эксперимент № 3		12,5	5	10	15
эксперимент № 4		20	10	15	25
эксперимент № 5		32,5	15	25	40

На рис. 1 приведены интенсивности влияния факторов (параметров) на выходные показатели процесса - количество добытого угля ( $Q$ ) и подвигание забоя ( $S$ ), причем факторы, оказывающие отрицательное влияние на функцию отклика выделены темным оттенком. Уровень значимости факторов по критерию Стьюдента (на графиках прямая линия) составляет 1,96; уровень значимости уравнений регрессии в целом по критерию Фишера во всех экспериментах подтверждает адекватность описания поверхностей откликов полиномом 1-й степени.

Анализ результатов экспериментов показывает, что при добыче угля из тонких пологих пластов высоконадежными высоконагруженными лавами с повышением относительной метанообильности пласта будет снижаться интенсивность влияния на количество добываемого угля мощности пласта, ширины захвата и мощности двигателей комбайна, увеличиваться интенсивность влияния параметров надежности комбайна. Мощность пласта является главным фактором, определяющим количество добытого угля вплоть до сверхкатегорных шахт по газу, для свехкатегорных шахт главным фактором является относительная метанообильность пласта. На подвигание забоя для всех категорий шахт по газу доминирующее влияние оказывает длина лавы, влияние ширины захвата с повышением метанообильности снижается. Мощность пласта имеет разную интенсивность влияния на подвигание забоя: для шахт 1, 2 и 3 кате-

гории по газу с увеличением мощности увеличивается подвигание забоя для сверхкатегорных – уменьшается.

Снижение интенсивности влияния таких факторов как мощность пласта, ширина захвата, суммарная мощность двигателей комбайна связано с ограничениями накладываемыми повышением относительной метанообильности пласта, с увеличением данного фактора снижается производительность процесса добычи, что в реальных условиях достигается понижением скорости подачи комбайна, что в свою очередь влечет за собой снижение надежности процесса выемки и увеличивает вероятность возникновения отказов, так как на отработку лавы в целом либо ее участка будет затрачено большее время.

Наибольшее влияние мощности пласта на количество добываемого угля для шахт 1,2 и 3 категорий по газу (эксперименты 1-3) связано с тем, что изменение мощности в диапазоне 0,7-1,2 м компенсирует влияние газового фактора снижающего скорость подачи комбайна, т.е. можно говорить, что при допустимых местных скоплениях метана (в том числе у исполнительного органа выемочной машины) до 2% со снижением скорости подачи и с увеличением мощности пласта количество добываемого угля все еще будет увеличиваться, а на сверхкатегорных шахтах повышенное газовыделение будет ограничивать скорость подачи для всего диапазона мощности пластов (0,7-1,2 м).

Длина лавы и ширина захвата являются главными факторами определяющим подвигание забоя, однако ширина захвата определяет и скорость подачи комбайна (так как при одинаковых энергозатратах с увеличением ширины захвата скорость подачи снижается), с повышением метановыделения скорость подачи будет ограничиваться газовым фактором, таким образом с увеличением относительной метанообильности пласта будет возрастать влияние длины лавы и снижаться влияние ширины захвата.

Различная интенсивность влияния мощности пласта на подвигание забоя на негазовых и газовых шахтах связана с незначительным снижением скорости подачи выемочной машины с увеличением мощности пласта и возможным снижением простоев лавы из-за отставания процесса крепления (в том числе ожидание крепи в конце лавы предшествующее проведению концевых операций) и значительным снижением скорости подачи на газовых шахтах и вызванной этим снижением надежности процесса добычи в целом.

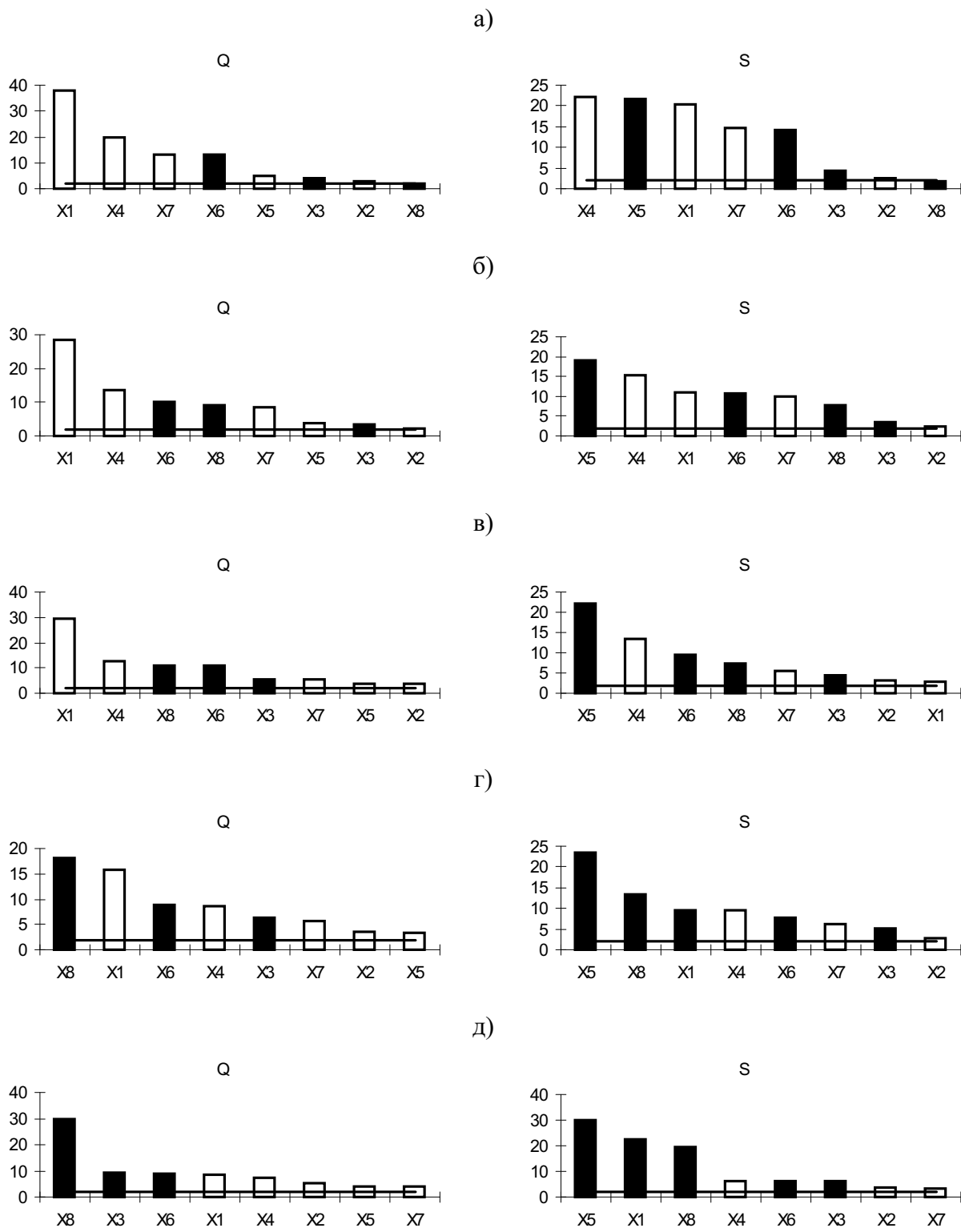


Рис. 1 - Интенсивность влияния факторов процесса выемки угля на количество добытого угля ( $Q$ ) и подвигание забоя ( $S$ ) для экспериментов: а) № 1; б) № 2; в) № 3; г) № 4; д) № 5

Для исследования процесса выемки угля в сложных горно-геологических условиях в качестве основных осложняющих факторов выбраны: невыдержанное залегание пласта, низкая устойчивость кровли, повышенная сопротивляе-

мость пласта разрушению резанием, повышенное газовыделение, высокая материнская зольность, наличие породных прослоев большой суммарной мощности, низкая скорость крепления, схема набора инструмента соответствующая работе по крепким и вязким углям, уменьшение мощности разрабатываемого пласта. Диапазоны варьирования факторов соответствуют сложным условиям разработки согласно Единой классификации и типизации пологонаклонных шахтопластов [10].

Проведена серия экспериментов исходные данные экспериментов представлены в табл. 2. В связи с тем, что факторы осложняющие работу добычного участка оказывают одновременно влияние как на формирование количества угля, так и его качества (зольность и крупность) в качестве выходного показателя (отклика) выбран экономический показатель, объединяющий данные характеристики - доход от реализации угля. Эксперименты проводились при варьировании мощности разрабатываемого пласта, в диапазоне характерном для тонких пластов.

Таблица 2 - Исходные данные экспериментов

Наименование фактора (обозначение)	Ед. изм.	Основной уровень	Интервал варьиро- вания	Нижний уровень	Верхний уровень
1. Абс. отклонение мощности пласта (X1)	%	20	15	15	30
2. Допустимая площадь незакрепленного пространства (X2)	м <sup>2</sup>	6,8	10,4	1,6	12
3. Сопротивляемость пласта резанию (X3)	кгс	320	80	280	360
4. Относительная метанообильность пласта (X4)	м <sup>3</sup> /т	12,5	5	10	15
5. Мат. ожидание материнской зольности пласта (X5)	%	22,5	15	15	30
6. Мат. ожидание суммарной мощности породных прослоев (X6)	м	0,15	0,1	0,1	0,2
7. Среднее время передвижки секции крепи (X7)	с	45	30	30	60
8. Число резцов исполнительного органа (X8)	шт	30	12	24	36

Интенсивность влияния осложняющих факторов на доход от реализации добытого угля (*D*) приведена на рис. 2.

Анализ данных показывает, что с ухудшением горно-геологических условий разработки тонких пологих пластов из комплекса осложняющих факторов на технико-экономические показатели работы добычного участка наибольшее влияние оказывают материнская зольность пласта и среднее время передвижки секций крепи, с увеличением мощности пласта возрастает влияние допустимой площади незакрепленного пространства и относительной метанообильности пласта, уменьшается влияние схемы режущего инструмента и сопротивляемо-

сти пласта резанию, незначимое влияние оказывает фактор выдержанности пласта.

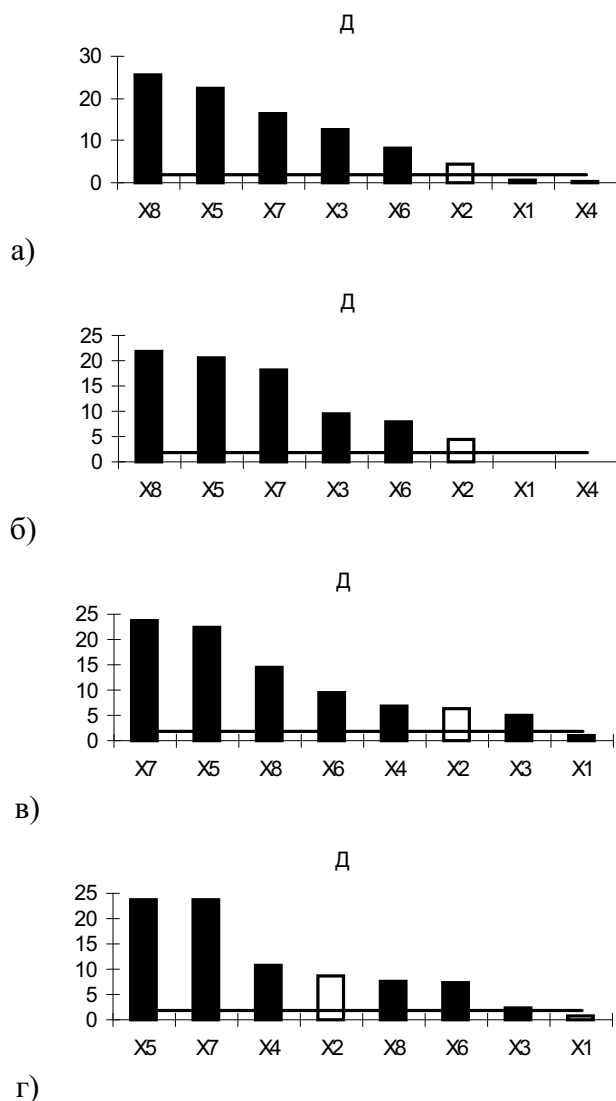


Рис. 2 - Интенсивность влияния осложняющих факторов на доход от реализации добытого угля ( $D$ ) при мощности пласта: а) 0,7 м; б) 0,8 м; в) 1,0 м; г) 1,2 м

Доминирующее влияние материнской зольности для диапазона мощности тонких пластов определяется нормативами и ценами, устанавливаемыми согласно действующему прейскуранту. Отставания процесса крепления увеличивает время простоев участка и в значительной степени снижает количество добываемого угля, что компенсирует влияние прочих факторов.

Возрастание влияния допустимой площади незакрепленного пространства лавы с увеличением мощности пласта вызвано снижением скорости подачи комбайна, что при значительном времени передвижки секций крепи компенсирует простои процесса добычи из-за отставания процесса крепления и таким образом более важным фактором становится площадь незакрепленного пространства.

Увеличение влияния относительной метанообильности пласта вызвано большим объемом газовыделения при выемке пластов большей мощности, а также потенциально большим объемом добычи (при прочих равных параметрах), чем из пластов меньшей мощности.

Схема режущего инструмента одновременно определяет энергозатраты на разрушение массива и качество (сортность) отбиваемого угля. Работа по крепким и вязким углям с высокой сопротивляемостью резанию требует увеличенного числа линий резания и числа активных резцов, одновременно контактирующих с массивом. При постоянной ширине захвата увеличение числа резцов исполнительного органа, а следовательно и линий резания уменьшает толщину среза, которая в свою очередь при одинаковых энергозатратах определяет скорость подачи комбайна. Следовательно, увеличение числа резцов одновременно снижает количество добываемого угля и увеличивает выход мелких фракций угля. В тоже время при отработке пластов меньшей мощности возможна большая скорость подачи комбайна, чем при отработке более мощных пластов и для данных пластов схема резания в большей степени снижает производительность процесса, чем для более мощных.

Снижение влияния сопротивляемости резанию с увеличением мощности пласта связано с увеличением влияния газового фактора, который для более мощных пластов в большей степени снижает скорость подачи и производительность процесса, чем сопротивляемость пласта резанию.

Незначимое влияние фактора выдержанности пласта связано с заданными диапазонами его варьирования и доминирующим влиянием всего комплекса прочих факторов.

Проведенные таким образом аналитические исследования процесса выемки угля позволили указать на специфику в изменении параметров процесса и выделить факторы, оказывающие доминирующее влияние на эффективность процесса при обеспечении высокой надежности и высоких нагрузках на очистной забой и с ухудшением горно-геологических условий разработки.

На основе проведенных аналитических исследований процесса выемки угля из тонких пологих пластов методом факторного эксперимента, можно заключить: интенсивность влияния параметров на эффективность процесса добычи угля зависит от существующих их значений в условиях конкретной шахты, а факторы, оказывающие наибольшее влияние на эффективность (главные факторы) будут различными для разных условий разработки; внедрение высоконадежной высокопроизводительной техники является одним из главных направлений повышения эффективности добычи угля на шахтах 1 и 2 категории по газу, для которых объем газовыделения не оказывает значительного влияния на выходные показатели процесса, для шахт 3 категории одновременно с этим необходимо осуществление комплекса мероприятий направленных на снижение газовыделения, в условиях сверхкатегорных шахт, для которых главным сдерживающим фактором является метанообильность пласта, в качестве первоочередных необходимо проводить мероприятия по снижению влияния данного фактора.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сургай Н.С., Виноградов В.В., Кияшко Ю.И. Методологические основы обеспечения надежности работы шахт // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск. - 2002. - Вып. 38. - С. 16-23.
2. Математические методы и модели в планировании и управлении горным производством / А.Г. Протосеня, С.А. Кулиш, Е.И. Азбель и др. – М.: Недра, 1985. - 288 с.
3. Гойцман Э.И. Моделирование производственных процессов на шахтах. - М.: Недра, 1977. - 192 с.
4. Штеле В.И. Имитационное моделирование развития подземных горных работ. – Новосибирск: Наука, 1984. - 177 с.
5. Стургул Д., Конюх В.Л. Компьютерная имитация горных работ // Горный вестник. – 1998. – № 1. – С. 77–81.
6. Конюх В.Л. Имитация горных работ на персональном компьютере // Уголь. - 2000. - № 9. - С. 33-35.
7. Зуев Б. Ю., Мустафин М. Г. Применение методов физического и имитационного (компьютерного) моделирования для решения задач управления геомеханическим состоянием массива при добыче метана из неразгруженных угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. / М.: МГГУ. - 2002. - № 6.
8. Шевченко В.Г. Разработка и реализация имитационной модели технологических процессов добычи угля из тонких пологих пластов // Науковий вісник НГУ / Національний гірничий університет. - Дніпропетровськ. - 2003. - № 7. – с. 6-10.
9. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. - М.: Наука, 1965. - 340 с.
10. Кияшко И.А. Процессы подземных горных работ. - Киев: Вища школа, 1992. – 335 с.

**УДК 622.232.54-59**

Д-р техн. наук Л.М. Васильев,  
гл. конструктор проекта В.Е. Антончик,  
гл. технолог С.В. Демченко  
(ИГТМ НАН Украины)

### **ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ ТОРМОЖЕНИЕ КЛАПАНА ГИДРОУДАРНИКА ПОСЛЕ ОТРЫВА ОТ БОЙКА.**

В даній статті розглядається можливість застосування гідравлічного гальмування клапану гідроударнику після відриву від бійка. Отримані результати та побудовані залежності швидкості руху та часу руху клапану від його пересування на шляху гальмування, а також залежність зміни тиску в порожнині гальмування від пересування клапану на шляху гальмування на прикладі розрахованого гідроударнику.

### **HYDRAULIC BRAKING OF THE HYDRAULIC HAMMER VALVE AFTER BRANCH IT FROM THE BRISK.**

In this article the opportunity of hydraulic braking application of the valve hydraulic hammer after branching from the brisk is considered. The results are received and the dependences of movement speed and movement time of the valve from his moving on braking way too, and also the diagram of pressure change in a cavity of braking are constructed depending on moving the valve on braking ways on an example considered hydraulic hammer.

Для бурения скважин в крепких породах и породах средней крепости применяются погружные гидроударники, которые представляют собой забойные гидравлические машины ударно-вращательного действия. В них энергия потока промывочной жидкости преобразуется в энергию удара специальной детали (бойка), передаваемую породоразрушающему инструменту. Существуют три