

В.В. Власенко, инж.,  
В.А. Нечитайло, инж.,  
Е.Г. Барадулин, инж.  
(ИГТМ)

Д.М. Житленок, д-р техн. наук,  
(ГП «Дзержинскуголь»)

## **СПОСОБЫ ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ ЧЕРЕЗ ВМЕЩАЮЩИЕ ПОРОДЫ И ИХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА**

Проведений розрахунок техніко-економічних показників способів вібраційної дії на вугільний пласт через вмещаючі породи показує, що на сьогодні ці способи є найбільш перспективними способами активного управління напружено-деформованим станом порідно-вугільного масиву

## **METHODS OF OSCILLATION AFFECTING COAL LAYER THROUGH CONTAINING BREEDS AND THEIR ECONOMIC EVALUATION**

The calculation of economic indexes of methods of the oscillation operating is conducted on a coal layer through containing breeds shows that these methods, for today, are the most perspective methods of active management of pedigree coal array the tensely deformed state

В результате проведенных исследований изучено влияние вибрационного воздействия на угольный пласт через вмещающие породы упругими волнами, генерируемыми системой вибраторов, разработанных на основе гидравлической крепи и размещенных в очистных забоях [1,2,3,4]. Установлено, что вибрационное воздействие на пласт приводит к его дегазации, разупрочнению, смещению максимума зоны опорного давления вглубь забоя, трещинообразованию. Возникает возможность инициирования разрушения и высыпания угля на всю высоту этажа для пластов, склонных к высыпанию и сползанию.

На основе проведенных исследований разработаны четыре технологические схемы добычи угля с использованием вибрационного воздействия:

- 1) способ выемки угля на крутых пластах с применением вибрационного воздействия подвижными вибраторами через вмещающие породы;
- 2) способ выемки угля на крутых пластах с применением вибрационного воздействия через вмещающие породы;
- 3) способ выемки угля на пологих пластах с применением предварительной вибрационной обработки угольного пласта гидростойками механизированных комплексов через вмещающие породы;
- 4) способ выемки угля на пологих пластах с применением предварительной вибрационной обработки угольного пласта гидростойками механизированных комплексов через вмещающие породы, как противовыбросного мероприятия.

Технология способа выемки угля на крутых пластах с применением виб-

рационного воздействия через подвижные вибраторы основана на разрушении угольного пласта энергией упругих волн, генерируемых системой гидравлических вибраторов – гидростоек через вмещающие породы. Она заключается в том, что выемка угля производится полосами по восстанию. Вибраторы размещаются в ранее пробуренной скважине или вблизи забоя и подвешиваются на канате лебедки, пропущенному по скважине с вентиляционного горизонта. Лебедка размещается на вентиляционном штреке. При работе вибраторов уголь разрушается, отделяется от пласта и под воздействием сил гравитации поступает на транспортный штрек через специально оборудованные люки. По окончании цикла разрушения угля система вибраторов лебедкой перемещается вверх для разрушения следующего участка угольного пласта. Контроль выемки осуществляется по количеству добытого угля. Порядок отработки полос – через одну.

Подготовительные работы заключаются в проведении промквершлагов и выемочных штреков – откаточного и вентиляционного.

При выемке угля агрегатом АНЩ - 01 нарезные работы производятся в соответствии со схемой № II-а [5]. При способе выемки угля с применением вибрационного воздействия через подвижные вибраторы нарезные работы заключаются в проведении просека, вентиляционных скважин и скважин, оконтуривающих выемочные полосы. Диаметр скважин в пределах мощности пласта до 0,9 м. Расстояние между осями скважин – 5,5 м. Скважины бурятся буровой установкой Б-68КП.

Просек высотой 4 м оформляется отбойными молотками и крепится деревянной крепью. В просеке выкладывается полоса из деревянных костров для охраны конвейерного штрека.

Управление разрушением угля осуществляется за счет оконтуривания выемочной полосы скважинами, заполненными закладочным материалом, предотвращающим высыпание угля из соседних полос. Допускается отклонение оси скважин от линии падения пласта до угла естественного откоса угля.

Кровля управляется комбинированным способом – полная закладка в полосе чередуется с полным обрушением в соседних полосах.

Технология производства работ с полной закладкой следующая.

После выемки угля в полосе в ее выработанное пространство спускаются оградительные сетки [6], которые устанавливаются у целиков угля так, чтобы при закладке выработанного пространства сетки заполнились закладочным материалом и последний не проникнул в будущее выработанное пространство, образуемое при выемке угля в соседних полосах.

По окончании выемки полосы снизу вверх, система вибраторов выдается лебедкой на вентиляционный штрек и демонтируется. Узлы и детали системы проверяются и подаются к очередной выемочной полосе. Здесь система вибраторов монтируется и лебедкой спускается по скважине к откаточному штреку. Далее повторяются циклы выемки угля полосами по восстанию.

Свежая струя воздуха поступает на участок по промквершлагу, затем по транспортному штреку направляется в очистное пространство и в вентиляци-

онные скважины для подсыхания вентиляционной струи на выходе с участка. При необходимости разгазирование производится устройством РУВ в последовательности транспортный штрек – вентиляционный штрек.

По конвейерному штреку уголь транспортируется конвейером СП-301 или СПЦ-261, производительностью 900 т/час.

Факторы экономической эффективности от применения способа выемки угля на крутых пластах с применением вибрационного воздействия подвижными вибраторами через вмещающие породы:

- повышение нагрузки на очистной забой;
- снижение трудоемкости;
- отсутствие погрузочно-разгрузочных и транспортных работ по транспортированию АНЦ – 01 с транспортного штрека на вентиляционный;
- отсутствие работ по оформлению углеспускной печи;
- сокращение затрат на материалы;
- сокращение амортизационных отчислений.

Определение экономической эффективности и технико-экономических показателей как для данного, так и для вариантов, описанных ниже, проведено в соответствии с утвержденными методиками [7].

Технико-экономические показатели приведены в таблице 1.

Рассмотрим сравнение вариантов выемки угля на крутых пластах щитовыми агрегатами АНЦ – 01 и выемки угля на крутых пластах с применением вибрационного воздействия неподвижными вибраторами через вмещающие породы.

Способ выемки угля основан на принципиальной возможности инициирования высыпания и добычи угля путем воздействия на призабойную часть пласта упругими поверхностными волнами, создаваемыми системой неподвижных вибраторов, на границе угольный пласт – вмещающие породы.

Подготовительные работы заключаются в проведении промквершлага и выемочных штреков – откаточного и вентиляционного.

Подготовительные работы заключаются в проведении промквершлага и выемочных штреков – откаточного и вентиляционного.

Способ применяют при разработке крутых пластов мощностью от 0,3 до 1,5 м с устойчивыми боковыми породами. Желательно, чтобы пласт имел пачки мягкого или перемятого угля и ярко выраженные кливажные трещины, по которым уголь легко бы разрушался. Возможно применение столбовой или комбинированной системы разработки. Предположительно разделение этажа на подэтажи. Выемочный столб разделяют на полосы, вытянутые по падению, ширина которых может в небольших пределах колебаться и равна 10-15 м.

Полосы оконтуриваются скважинами, диаметром равным мощности пласта и заполняются твердеющей закладкой или длинномерными пневматическими оболочками. Над откаточным штреком проводится просек высотой 4 м, закрепленный деревянной крепью и кострами.

Таблица 1 – Технико-экономические показатели способов выемки угля.

| Показатели   | Единица измерения | Базовый способ                                 | Новый способ  |
|--|-------------------|--|---|
| Система разработки                                     |                   | Система щитовой разработки столбами по падению | Система вибрационной разработки столбами по восстанью |
| Состав оборудования основного: агрегат для выемки угля |                   | АНЦ - 01                                       | Система вибраторов                                    |
| Лебедка  |                   | -  | ІЛГКН   |
| Буровая установка                                      |                   | -  | Б-68КП  |
| Условия применения:                                    |                   |  |   |
| мощность пласта;                                       | м                 | 1,0  | 1,0   |
| длина забоя;   | м                 | 60   | 10  |
| высота этажа;  | м                 | 140  | 140   |
| угол падения пласта                                    | град.             | свыше 45°                                      | свыше 45°   |
| Режим работы очистного забоя по добыче                 | смена             | 2  | 2   |
| Добыча годовая   | т                 | 68625  | 829117  |
| суточная   | т                 | 225  | 520   |
| Количество циклов в сутки                              | шт.               | 4,4  | 13  |
| Время отработки полосы                                 | сут.              | 46   | 3,3   |
| Количество выходов в сутки                             | чел./см.          | 33,72  | 28,58   |
| Производительность труда                               | т/сут.чел.        | 6,67   | 18,12   |
| Себестоимость угля по эксплуатационным расходам        | грн./т            | 6,76   | 2,80  |
| Годовой экономический эффект                           | грн.              | -  | 829117  |

По окончании нарезных работ по подготовке полосы угля к отработке в просек, между кострами при помощи гидродомкратов и рольганга, устанавливаются и распираются секции механизированной крепи, используемые для получения упругих волн. После установки всех вибраторов деревянная крепь и костры убираются.

Отработку полос угля производят через одну. Этим достигается возможность управления кровлей не только в отработываемой, но и в уже отработанных полосах, где производится закладка выработанного пространства, причем полная закладка применяется через одну полосу и чередуется с полным обрушением.

Производственные процессы в очистном пространстве, связанные с разрушением угля, осуществляются системой вибраторов, без присутствия людей, в автоматическом вибрационном или импульсном режиме. Нагнетаемую в гидростойки механизированной крепи жидкость давлением до 25,0 МПа, в течение 0,1-0,01 с сбрасывают до 5 МПа, что вызывает образование во вме-

щающих породах упругой волны, распространяющейся вглубь массива и инициирующей высыпание или выброс угля на всю высоту полосы. Высыпание угля происходит в течение 10-15 минут с частичным накоплением угля в магазинной части забоя. Из магазинной части забоя уголь через люки выпускается в вагонетки на откаточный штрек либо просто на откаточный штрек с последующей уборкой его скребковым конвейером с пересыпом на ленточный.

По окончании выпуска угля вибраторы демонтируются и устанавливаются на новой полосе. Одновременно, с демонтажем секций механизированной крепи, просек закрепляется кострами. Производится закладка выработанного пространства.

Проветривание выработок осуществляется через скважины, диаметром равным мощности пласта, пробуренные посередине полосы снизу вверх на всю наклонную высоту этажа (подэтажа). Возможно применение инертной среды.

Факторы экономической эффективности от применения способа выемки угля:

- повышение нагрузки на очистной забой;
- увеличение производительности труда;
- сокращение расходов на материалы.

Сравнение технико-экономических показателей см. в таблице 2.

Рассмотрим сравнение вариантов выемки угля на пологих пластах механизированными комплексами и выемки угля на пологих пластах с применением предварительной вибрационной обработки угольного пласта гидростойками механизированных комплексов через вмещающие породы.

В новом способе выемка угля осуществляется после предварительного воздействия упругими волнами на породно-угольный массив.

Подготовительные работы заключаются в проведении выемочных штреков.

В базовом способе нарезные работы заключаются в проведении разрезной печи и оформлении ниши суммарной длиной 14 м. В новом способе ниши отсутствуют в связи с выносом конвейерного привода на штрек и выходом на штрек исполнительного органа струга.

В базовом варианте выемка угля осуществляется комбайном К85 или КА90, а выемка ниш буровзрывным способом.

В новом способе выемка угля осуществляется струговой установкой С075М в комплексе с 2МКД90 после предварительного воздействия упругими волнами на породно-угольный массив. В результате вышеуказанного воздействия, крепость угля уменьшается, что позволяет использовать струговую выемку на пластах с крепким углем.

Схемы транспорта и вентиляции в обоих вариантах одинаковы. Факторы экономической эффективности от применения способа выемки угля на пологих пластах механизированным комплексом 2МКД90 с предварительным вибровоздействием на породно-угольный массив:

- повышение нагрузки на очистной забой;
- повышение производительности труда;
- повышение безопасности работ;
- сокращение расходов на материалы;
- отсутствие работ по оформлению ниш.

Сравнение технико-экономических показателей, таблица 3.

Таблица 2 – Техничко-экономические показатели способов выемки угля.

| Показатели   | Единица измерения | Базовый способ                                 | Новый способ   |
|--|-------------------|--|--|
| Система разработки   |                   | Система щитовой разработки столбами по падению | Система виброимпульсной разработки столбами по восстанью |
| Состав оборудование основного: агрегат для выемки угля сопутствующего: буровая установка |                   | АНЦ - 01                                       | Система вибраторов Б-68КП                                |
| Условия применения:  |                   |  |  |
| мощность пласта  | м                 | 1,0  | 1,0  |
| длина забоя  | м                 | 60   | 60   |
| высота этажа   | м                 | 140  | 140  |
| угол падения пласта  | град              | свыше 42°                                      | свыше 42°  |
| Режим работы очистного забоя   | смена             | 2  | 1  |
| Добыча годовая   | т                 | 68625  | 192150   |
| суточная   | т                 | 225  | 630  |
| Время отработки полосы   | сут.              | 46   | 4,0  |
| Количество выходов в сутки   | чел./см.          | 33,72  | 34,46  |
| Производительность труда   | т/сут.            | 6,67   | 18,35  |
| Себестоимость угля по эксплуатационным расходам  | грн./т            | 6,76   | 2,57   |
| Годовой экономический эффект   | тыс.грн.          | -  | 935  |

Рассмотрим сравнение вариантов очистных работ с применением гидроуплотнения и способ выемки угля на пологих пластах с применением предварительной вибрационной обработки угольного пласта гидростойками механизированных комплексов через вмещающие породы, как противовыбросного мероприятия.

В качестве базового варианта принята технологическая схема подготовки и отработки по простиранию пластов мощностью 0,55-1,50 м с углом падения до 10° схема №22 [7].

Новый способ включает способ предотвращения внезапных выбросов, основанный на возможности изменения напряженно-деформированного со-

стояния призабойной части пласта упругими волнами, создаваемыми механизированной крепью, работающей в вибрационном режиме.

Таблица 3 – Техничко-экономические показатели способов выемки угля.

| Показатели   | Единица измерения | Базовый способ      | Новый способ        |
|--|-------------------|---------------------|---------------------|
| Состав оборудования – Комплекс очистной                    |                   | 2МКД90              | 2МКД90              |
| Условия применения:<br>- мощность пласта<br>- угол падения | м<br>град.        | 1,15-1,42<br>до 35° | 1,15-1,42<br>до 35° |
| Режим работы очистного забоя по добыче                     | смена             | 3                   | 3                   |
| Добыча: - годовая<br>- суточная                            | т<br>т            | 274500<br>900       | 457500<br>1500      |
| Время отработки столба                                     | сут.              | 277                 | 166                 |
| Количество выходов в сутки                                 | чел./см.          | 63                  | 52                  |
| Производительность труда                                   | т/сут.чел.        | 14,29               | 28,85               |
| Себестоимость угля по эксплуатационным расходам            | грн./т            | 3,09                | 1,93                |
| Годовой экономический эффект                               | тыс.грн.          | -                   | 527                 |

Очистные работы с применением вибрации, как противовыбросного мероприятия, применяют на пластах с породами кровли и почвы не ниже средней устойчивости. Способ подготовки шахтного поля – панельный. Схема разработки – длинными столбами по простиранию, что обеспечивает заблаговременное обнаружение геологических нарушений, к которым приурочены выбросоопасные зоны. Однако, возможно применение этого способа и при сплошной системе разработки.

Производственные процессы в лаве, связанные с добычей угля, осуществляются механизированным комплексом 3МКД90, включающим в себя: крепь поддерживающего типа ЗКД90; узкозахватный комбайн ПЦ68Б; скребковый конвейер СПЦ271; две насосные станции; крепь сопряжения КСИМ1, предназначенную для поддержания кровли на сопряжениях лав с конвейерными и вентиляционными штреками.

В исходном положении комбайн находится внизу лавы, стойки секций крепи отстают от конвейера на величину захвата исполнительного органа комбайна. По мере выемки угля и обнажения призабойного пространства, секции крепи подтягиваются к конвейеру и закрепляют обнаженную кровлю. Передвигаться они могут в любом порядке: последовательно – одна за другой; через одну и через несколько. Перед передвижкой секции очищают от кусков породы и угольной мелочи. Выемка угля осуществляется по односторонней схеме работы комбайна. При этом, комбайн вынимает уголь только

при движении снизу вверх в направлении свежей струи воздуха. После снятия полосы угля комбайн передвигается в обратном направлении и наваливает на конвейер, оставшийся на почве уголь. Конвейерный став перемещается к забою на ширину захвата исполнительного органа вслед за комбайном. В конце лавы производят осмотр комбайна, замену резцов, ремонт погрузочного щитка и выравнивание конвейера. Комплекс находится в исходном положении для выемки следующей полосы угля. Концевые операции в лаве выполняют способом косых заездов.

Ремонтно-подготовительные работы совмещены с проведением противовыбросного мероприятия. Способ выемки угля на пологих пластах с применением предварительной вибрационной обработки угольного пласта через гидростойки механизированных комплексов, как противовыбросного мероприятия, осуществляется воздействием на пласт угля через вмещающие породы механизированной крепью, работающей в вибрационном или импульсном режимах.

В начале смены, предназначенной для выполнения локальных противовыбросных мероприятий, комбайн находится в исходном положении внизу лавы, крепь и конвейер придвинуты к очистному забою. В течении 20-30 минут производится подготовка секций механизированной крепи к виброобработке горного массива, заключающаяся в подключении их к гидросхеме автоматического управления ими в вибрационном или импульсном режимах. После этого первый ряд гидростоек крепи работает в режиме нагнетания-сброс давления с частотой следования импульсов – 10 с. Схема управления предусматривает переход на ручной режим работы.

Упругие волны, возникающие на границе пласт – вмещающие породы, увеличивают газовыделение, уменьшают крепость угля, изменяют напряженно-деформированное состояние призабойной части пласта, нарушают сплошность кровли. Максимум зоны опорного давления перемещается вглубь массива. Все это приводит к снижению возникновения внезапного выброса.

В качестве контроля эффективности способа предусматривается текущий прогноз выбросоопасности на основании измерений сейсмоакустической активности пласта (сейсмоакустический метод) и контроля по динамике газовыделения.

Когда контролем будет установлена эффективность противовыбросного мероприятия, вибровоздействие прекращается. Далее осуществляется выемка угля комбайновым способом.

Схема проветривания – прямоточная с обособленным разбавлением газов и пыли.

Факторы экономической эффективности от использования технологической схемы очистных работ, включающей новый способ выемки угля на пологих пластах с применением предварительной вибрационной обработки угольного пласта через гидростойки механизированных комплексов, как мероприятия предотвращения внезапных выбросов:

- повышение нагрузки на очистной забой;



- повышение производительности труда.

Сравнение технико-экономических показателей, таблица 4.

Таблица 4 – Технико-экономические показатели способов предотвращения выбросов.

| Показатели   | Единица измерения    | Базовый способ                | Новый способ                  |
|--|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Оборудование:<br>- механизированная крепь;<br>- комбайн;<br>- конвейер   |                      | ЗКД90<br>2ГЦ-68Б<br>СПЦ271    | ЗКД90<br>2ГЦ-68Б<br>СПЦ271    |
| Условия применения:<br>- мощность пласта<br>- общая длина лавы<br>- длина выемочного столба<br>- угол падения пласта | м<br>м<br>м<br>град. | 1,46<br>270<br>1100<br>до 10° | 1,46<br>270<br>1100<br>до 10° |
| Способ предотвращения внезапных выбросов   |                      | гидрорыхление                 | виброобработка массива        |
| Способ управления кровлей  |                      | полное обрушение              | полное обрушение              |
| Режим работы лавы по добыче  | смена                | 2                             | 3                             |
| Среднесуточное продвижение лавы  | м                    | 1,89                          | 3,15                          |
| Добыча: годовая<br>суточная  | т<br>т               | 234850<br>770                 | 390095<br>1279                |
| Количество выходов в сутки   | чел.см/сут           | 40,26                         | 51,75                         |
| Производительность труда   | т/сут.               | 19,12                         | 24,71                         |
| Себестоимость угля по эксплуатационным расходам  | грн./т               | 2,81                          | 2,00                          |
| Годовой экономический эффект   | грн.                 | -                             | 437226                        |

Проведенные исследования и сравнения разработанных технологических схем с существующими показывают, что:

- способы выемки угля из крутых пластов с применением вибрационного воздействия подвижными и неподвижными вибраторами через вмещающие породы являются интенсивными – повышающими производительность труда в 2-3 раза;

- разработка предложенных способов с инициированием высыпания угля на всю высоту этажа требует дополнительных исследований и решения ряда сопутствующих проблем (транспорта, закладки выработанного пространства, вентиляции, возможности перехода на работу в инертной среде, повышения скорости проведения подготовительных выработок, направленного бурения скважин по уголю и др.);

- технологическая схема выемки угля на пологих пластах с применением предварительной вибрационной обработки угольного пласта гидростойками механизированных комплексов через вмещающие породы может быть без существенных затрат доведена до опытно-промышленной проверки в течение 2-3 лет;

- технологическая схема добычи угля на выбросоопасных пластах с использованием вибровоздействия в качестве противовыбросного мероприятия может найти широкое применение в угольной промышленности, и доведена до опытно-промышленной проверки за 2-3 года, при наличии соответствующей системы контроля за выбросоопасным состоянием.

Последние две технологические схемы являются наиболее перспективными для получения скорейшего эффекта от проведенных разработок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат А.Ф., Курносов А.Т., Русанцов Ю.А. Управление состоянием предельно напряженного породного массива малозергоемкими воздействиями / Отв. ред. А.Н. Зорин, АН УССР. Ин-т геотехн. механики. Киев: Наукова думка, 1993. – 176 с.

2. Софийский, К.К. Результаты экспериментальных исследований вибрационного воздействия системы гидравлических вибраторов на призабойную часть угольного пласта / К.К. Софийский, Е.Г. Барадудин, В.А. Нечитайло, В.А. Амелин, Д.П. Силин, В.В. Назарчук, М.А. Берлянт // Вибрационные эффекты в процессе добычи и переработки минерального сырья: сб. науч. тр. / АН УССР. Ин-т геотехнической механики: Редкол. Потураев В.Н. (отв. ред.) [и др.]. – Киев: Наукова думка, 1989. – С. 35 – 41.

3. Нечитайло, В.А. Результаты исследований вибрационного воздействия виброгидравлического устройства на призабойную часть угольного пласта / В.А. Нечитайло // Второй семинар по угольному машиностроению Кузбаса. Кемерово, 22 – 23 октября 1991г.: тезисы докл. – 1991. – С. 16 -17.

4. Софийский, К.К. Оценка напряженного состояния угольного пласта при импульсном воздействии на него через вмещающие породы / К.К. Софийский, В.А. Нечитайло, Д.М. Житленок, Е.А. Воробьев // Материалы IV Международной научной школы – семинара «Импульсные процессы в механике сплошных сред», сентябрь 2001г. – Николаев: Ателл, 2001. – С. 55 -56.

5. Прогрессивные технологические схемы разработки пластов на угольных шахтах : в 2 ч. – М., 1979(ч.1 – 240 с., ч.2 -- 248 с.).

6. Технологические схемы разработки пластов, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа. -- М., 1982. – 256 с.

7. Методика определения экономической эффективности использования в угольной промышленности новой техники, изобретений и рационализаторских предложений : в 3 т. – М., 1979 (т. 1 – 120 с., т. 2 – 196 с., т. 3 – 136 с.).