

- Ц.Е. Мирцхулава, М.Ф. Складнев // Руслловые процессы и методика их моделирования. – Л.: Энергия, 1977. – С. 3-8.
4. Никитин И.К. Турбулентный русловый поток и процессы в придонной области. – К.: Изд. АН УССР, 1963. – 141 с.
5. Силовое воздействие потока на крупные частицы / Д.Л. Титовский Д.Л. // Труды МГМИ "Гидравлика". – М., 1981. – Том 68. – С. 127-135.
6. Yalin V.S. Mechanics of srdiment transport 2<sup>nd</sup> ed. – L.: Pergamon Press, 1977.
7. Березин И.С., Жидков И.П. Методы вычислений. – М., 1960. – Т. 2. – 620 с.
8. Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ: Полученные алгоритмы. – М.: Мир, 1977. – Т. 2. – С. 727.
9. Прикладные методы статистического моделирования. – Л.: Машмностроение, 1986. – Ленинградское отделение. – 320 с.

**УДК 622.831.3 : 622.28.043**

Канд. техн. наук И.Н. Слащев  
(ИГТМ НАН Украины)

### **ШАХТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ ПОДДЕРЖАНИЯ ШТРЕКОВ В УСЛОВИЯХ ЛЕГКООБРУШАЕМЫХ ПОРОД ЗАПАДНОГО ДОНБАССА**

Наведені результати шахтних експериментальних досліджень особливостей роботи анкерних, рамно-арочних і комбінованих систем підтримання штреків в умовах порід, що легко обрушуються, представлені закономірності деформування виробки під впливом очисних робіт.

### **MINING RESEARCH OF SYSTEMS MAINTENANCE STABILITY COAL HEADING IN EASILY CAVE ROCK OF WESTERN DONBASS**

The results of experimental studies of mining features of the roof bolting, arch and combined bolt-and-arch systems maintenance coal heading in easily cave rock, deformation regularities of under the influence of coal-extraction.

В Украине и за рубежом более 50 % угля добывается столбовыми системами разработки, которые признаны наиболее эффективными и производительными. Данная технология предусматривает предварительное проведение протяженных штреков (до 3 км), устойчивость которых должна быть обеспечена в течение всего срока службы выемочного столба (обычно 1-2 года). В сложных горно-геологических условиях (обводненность и газонасыщенность массива, тектоническая нарушенность и др.) протяженные выемочные штреки, вынужденно проведенные в легкообрушаемых глинистых породах, часто теряют свою устойчивость в течение малого промежутка времени после их проведения (иногда, еще до окончания подготовки выемочного столба). Это приводит к значительным затратам на их поддержание в рабочем и безопасном состоянии. Поэтому проблема обеспечения устойчивости подготовительных выработок остается одной из самых актуальных в угольной отрасли [1].

ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины разработан ряд методических, технологических и технических рекомендаций по безопасному и эффективному поддержанию подготовительных и капитальных выработок в условиях глубоких шахт [2]. Установлено, что наиболее результативными способами поддержания горных выработок в неустойчивых породах является применение систем анкерного и комбинированного рамно-анкерного крепления [3-5], которые активно внедряются на шахтах Донбасса. Для оценки эффективности работы ука-

занных типов крепей в неустойчивом обводненном массиве горных пород шахт Западного Донбасса необходимы исследования особенностей их сложного взаимодействия с породным массивом по длине охраняемой выработки и форм проявлений горного давления под влиянием очистных работ. Поэтому целью данных исследований является установление закономерностей деформирования штреков под влиянием очистных работ и оценка особенностей работы систем комбинированного крепления в сложных горно-геологических условиях.

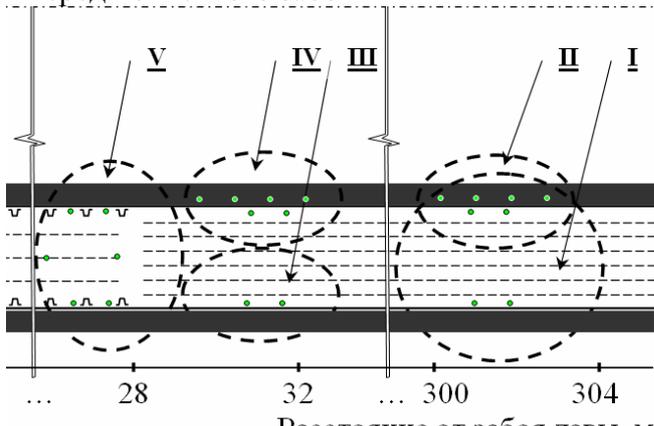
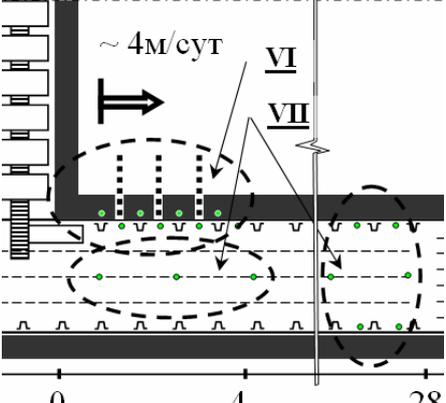
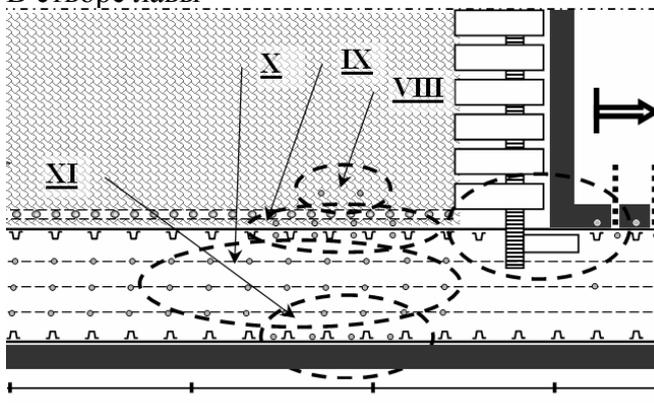
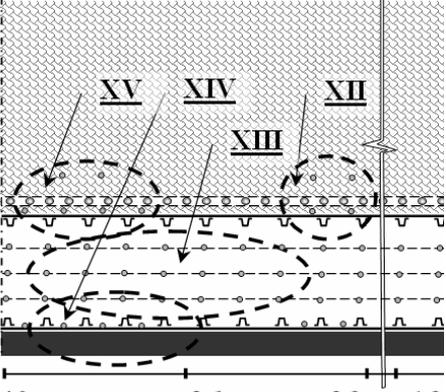
Шахты Западного Донбасса отрабатывают угольные пласты в сложных горно-геологических условиях. Вмещающие аргиллиты и алевролиты неустойчивы, легкообрушаемы, трещиноваты и склонны к размоканию, а угольные пласты, напротив, крепкие и вязкие. В этих условиях устойчивость выработок, в значительной степени, зависит от особенностей деформирования углевмещающих пород и правильного обоснования способов и средств крепления, которое может быть выполнено на базе результатов исследований проявлений горного давления и опыта эксплуатации штреков.

Рассмотрим условия поддержания выработки анкерными, арочными и комбинированными рамно-анкерными системами крепления на примере 535 сборного штрека шахты «Самарская». Исследуемая лава отрабатывалась первой в блоке № 3 шахтного поля, поэтому с одной стороны сборного штрека располагался целик угля. Это не самые сложные горнотехнические условия, однако, они позволяют адекватно анализировать именно систему крепления без влияния сопряженных выработок, смежных лав и дополнительных средств охраны выработок.

Горно-геологические условия отработки угольных пластов осложнены близостью зоны регионального размыва, мелкоамплитудными тектоническими нарушениями, зонами смены литологического состава пород непосредственной кровли, склонностью пород к внезапному обрушению. Разрабатываемый угольный пласт  $C_5$  имеет мощность 0,46-1,59 м (средняя 0,88 м, прочность 40 МПа), угол падения 2-4°. Глубина разработки составляет 150 м. Кровля и почва представлены аргиллитами и алевролитами, прочностью 10-20 МПа. При водонасыщении породы весьма неустойчивые (прочность снижается в два и более раз), склонные к внезапным обрушениям. В кровле зонально на высоте до 2,5 м расположен водонасыщенный песчаник (прочность 11-13,7 МПа).

Комплекс шахтных исследований (табл. 1) проведен на 400 метровом участке штрека, попадающего под влияние отработки лавы, и включал: определение параметров зон повышенной трещиноватости в кровле и боках штрека; измерения отжима породного массива непосредственно за лавой, а также в зоне крепления боков выработки дополнительными анкерами; измерения конвергенции кровля-почва и боков штрека; обследование обрушений боков штрека; исследование зоны перехода от рамно-анкерного к анкерному креплению; оценку работы анкерной крепи впереди лавы, рамно-анкерной крепи в зоне динамического опорного давления лавы, рамной и рамно-анкерной крепи в зоне обрушения за лавой, состояния бровки при рамно-анкерном и рамном креплении; измерения величины оседания и прогиба кровли пласта.

Табл. 1 – Комплекс шахтных исследований проявлений горного давления

Схемы участков исследований	Описание
<p>Впереди очистного забоя</p>  <p>Расстояние от забоя лавы, м</p>	<p><b>I</b> – детальные исследования расслоений и трещин в кровле штрека (анкерная крепь);</p> <p><b>II, III, IV</b> – замеры отжима боков штрека;</p> <p><b>II, IV</b> – обследование обрушений боков штрека;</p> <p><b>V</b> – измерения конвергенции кровля-почва и боков штрека, исследование зоны перехода от рамно-анкерного к анкерному креплению</p>
<p>В зоне опорного давления лавы</p> 	<p><b>VI</b> – измерения отжима пород и угла, закрепленного дополнительными анкерами в боку штрека, определение расположения трещин;</p> <p><b>VII</b> – измерения конвергенции кровля-почва и боков штрека, оценка работы рамно-анкерной крепи в зоне опорного давления лавы</p>
<p>В створе лавы</p> 	<p><b>VIII</b> – измерения величины оседания кровли пласта и ширины зоны прогиба кровли;</p> <p><b>IX</b> – оценка состояния бровки и работы рамно-анкерной крепи;</p> <p><b>X</b> – измерения конвергенции кровля-почва и смещений кровли;</p> <p><b>XI</b> – измерения отжима пород и угла в целике непосредственно за лавой</p>
<p>В зоне обрушения пород за лавой</p> 	<p><b>XII, XV</b> – измерения высоты оседания кровли пласта и оценка состояния бровки при рамно-анкерном и рамном креплении;</p> <p><b>X, XIII</b> – измерения конвергенции кровля-почва, оценка работы рамной и рамно-анкерной крепи;</p> <p><b>XIV</b> – измерения отжима боков штрека, определение параметров трещин</p>

Вне зоны влияния очистных работ (анкерное крепление). Впереди лавы обследовано 300 м штрека, закрепленного системой анкерного крепления. Специфика работы анкерной крепи заключается в упрочнении массива горных пород и использовании его грузонесущей способности. Функция анкерных штанг, контактирующих с породными стенками шпуров по всей длине, состоит в продольной жесткой связи породных слоев и блокировании деформаций сдвига и растяжения.

В штреке, еще не подвергшемся влиянию лавы, рис. 1, деформации контура выработки, в основном, незначительны.

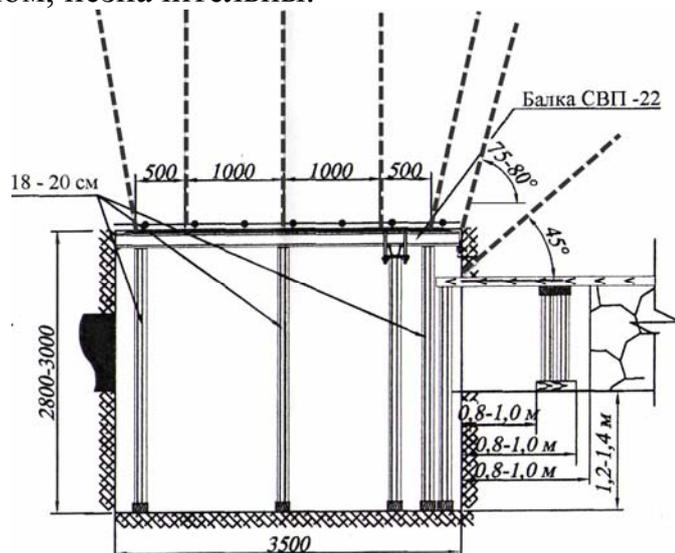


Рис. 1 – Проектное сечение штрека впереди лавы

Происходит провисание кровли между анкерами до 40 мм. Вместе с тем, локально наблюдаются интенсивные деформации, которые зарождаются в верхних боках штрека и проявляются в виде обрушения слабых пород, которые, в основном, приурочены к зонам обводненности, рис. 2. Размокание вмещающих пород происходит в обоих боках выработки. В этих местах кровля отслаивается, а местами обваливается, рис. 2, а.



а)



б)

Рис. 2 – Состояние штрека впереди лавы: а – разрушение верхних углов на границе зоны анкерования; б - отклонение формы верхнего угла выработки от проектного сечения

Пролет грузонесущей балки, образованной анкерами в кровле, первоначально зависит от качества проведения выработки, соблюдения ее формы и размеров поперечного сечения. Поэтому негативные проявления горного давления, в том числе, связаны с техническим увеличением пролета кровли, рис. 2, б. В процессе неупругого деформирования боков выработки поддерживаемый пролет кровли продолжает увеличиваться еще на 0,6-0,8 м, рис. 3. По границе упрочненной анкерами зоны начинают развиваться продольные протяженные трещины. В некоторых местах зона анкерования имеет поперечные трещины на всю ширину выработки. Цельность непосредственной кровли частично нарушается и разделяется на блоки, что влечет за собой потерю устойчивости боков выработки и упрочненная анкерами кровля постепенно теряет опору. Эти процессы негативно сказываются на качестве всей системы анкерного крепления.

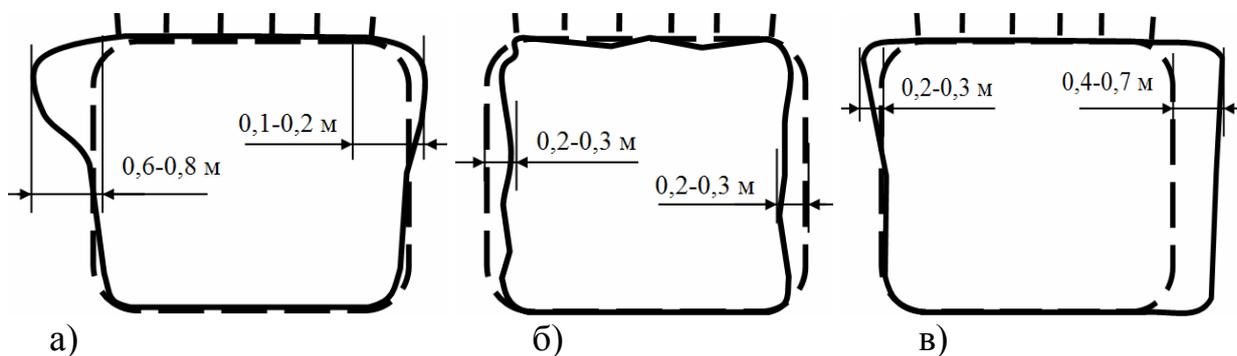


Рис. 3 – Формы отклонений от проектного сечения штрека:  
а – в верхних углах; б – в боках; в – в верхних углах и боках

В целом, система анкерного крепления вне зоны влияния очистных работ показала высокую эффективность, все негативные проявления горного давления связаны с локальными изменениями гидрогеологических условий или техническими причинами. В результате вязкопластических деформаций максимальное провисание кровли между анкерами не превысило 40 мм.

*В зоне динамического опорного давления (рамно-анкерное крепление).* Системы подпорного крепления (деревянные брусья и обаполы, металлические стойки и др.) применяются повсеместно для поддержания: сопряжений в зоне динамического опорного давления лавы, створа очистного забоя, бровок угольного пласта после прохода лавы. Дополнительное крепление штрека в зоне опорного давления 535 лавы осуществляется инвентарной крепью из балок СВП-22 длиной 3,0-3,5 м, соединенных замками. Между рядами анкеров под балки устанавливают четыре гидравлических стойки. Окно лавы закреплено органной крепью: диаметр брусьев – 180 мм, высота – 800 мм, расстояние между вертикальными брусьями – 400 мм. Поддержание бровки (ширина 0,8-1 м) осуществляется с опережением лавы на 40 м анкерной крепью длиной 2,4 м, устанавливаемой в два ряда. Первый ряд анкеров устанавливается на расстоянии 0,5 м от нижнего ряда анкеров.

В зоне опорного давления происходит интенсивное возрастание нагрузки на все элементы рамной и анкерной крепи, разрушение пород в боках выработки

под угольным пластом. Угольный пласт прогибается, и в нем образуются трещины излома, которые наблюдаются на расстоянии 3,2-8,8 м, рис. 4. В породах кровли вертикальная трещина прорастает на расстоянии 19,2 м.

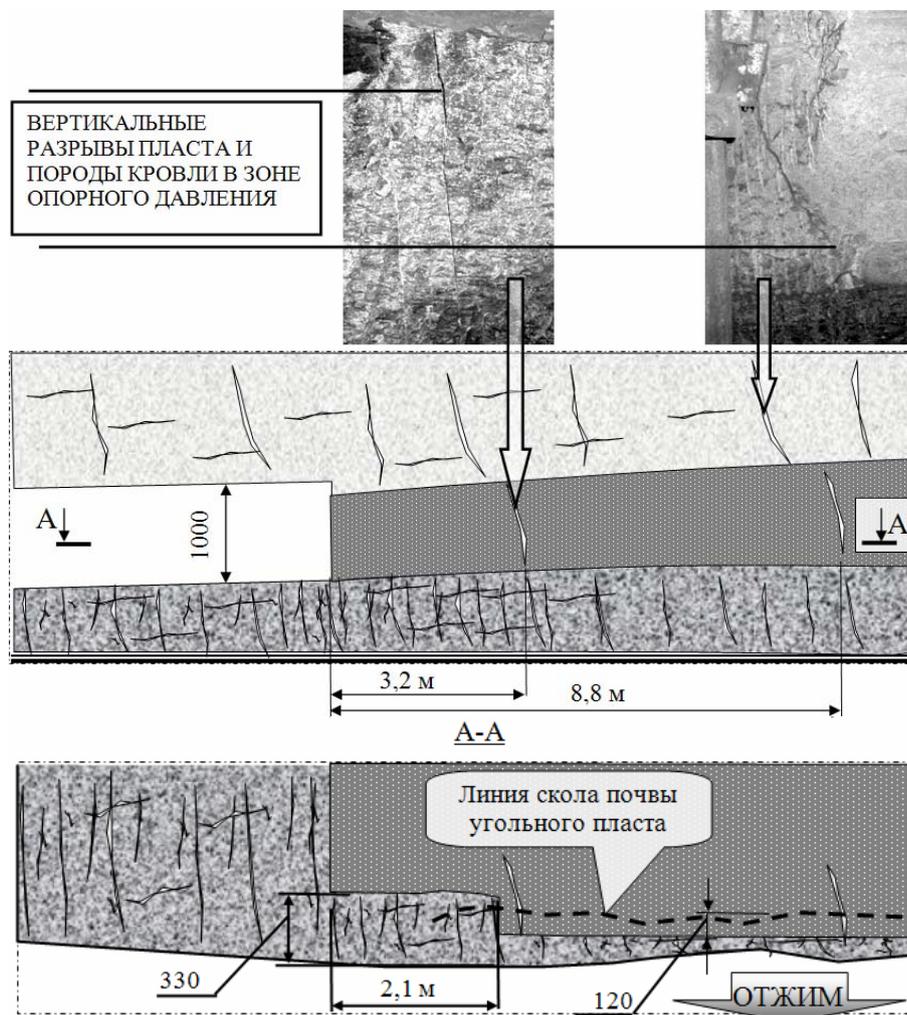


Рис. 4 – Деформации пород почвы угольного пласта в зоне опорного давления лавы

Учитывая местоположение магистральных трещин излома угольного пласта, можно утверждать, что зона опорного давления в угольном пласте неоднородна, ее максимумы располагаются на расстояниях  $\approx 2$  м, 7 м и более 9 м. Непосредственно перед забоем лавы (2,0-2,5 м) на глубине 300-450 мм в почве угольного пласта зарождается продольная трещина, которая далее развивается на глубине 100-120 мм по всей зоне динамического опорного давления. Отжим почвы пласта составляет 330 мм, что превышает отжим кровли на 58-65 %. В створе очистного забоя происходит разрушение краевой части угольного пласта и обрушение бровки.

*В зоне обрушенных пород (рамно-анкерное и рамное крепление).* В выработках, поддерживаемых за очистным забоем (повторное использование, в целях вентиляции и др.), система крепления штрека на расстоянии до 30-40 м за лавой подвергается наибольшей нагрузке. Аргиллит в кровле и почве угольного пласта 535 лавы деформируется пластически. Почва пласта менее прочная, поэтому брус органной крепи разрушает бровку на величину 100-250 мм, кровлю

– на 50-100 мм. Общий просвет выработанного пространства вдоль штрека составляет 700-800 мм. Высота поддерживаемой части завала на глубине 1,7 м в сторону выработанного пространства в сорока метрах позади лавы составляет ≈400 мм, рис. 5. На расстоянии свыше 2,5 м вглубь выработанного пространства кровля полностью плавно ложится на почву.

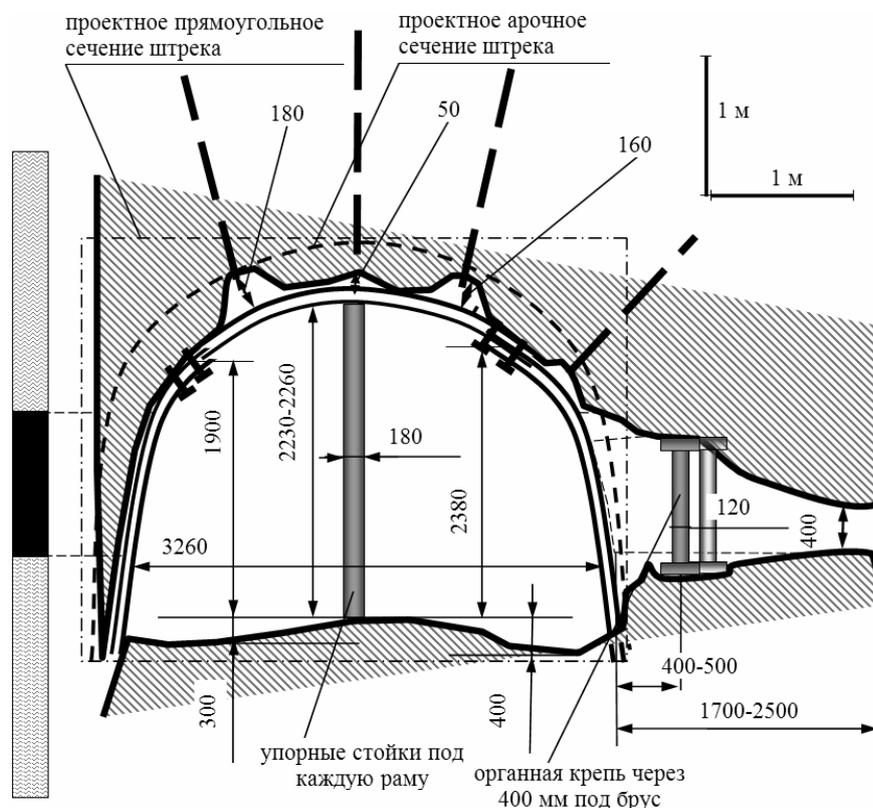


Рис. 5 – Деформирование штрека при рамно-анкерном креплении (40 м за лавой)

Смещения кровли по ширине выработки различны по величине и имеют выраженный асимметричный характер, рис. 6. Логарифмические регрессионные модели возрастания смещений кровли на тридцатиметровом участке штрека за лавой, закрепленном комбинированной рамно-анкерной крепью, имеют вид:

со стороны лавы	$u = 43,7 \ln(l) + 301, \text{ мм};$
по центру штрека	$u = 44,1 \ln(l) + 245, \text{ мм};$
со стороны целика	$u = 38,6 \ln(l) + 164, \text{ мм}.$

Скорость смещений со стороны выработанного пространства составляет 15-20 мм/сут, по центру – 14-18 мм/сут, со стороны целика – 12-14 мм/сут. Происходит прогрессирующее уменьшение сечения штрека и резко повышается асимметричность нагрузки на охранную конструкцию. Уменьшение высоты штрека за лавой на длине до 40 м составляет 23-28%, ширины – 12-14%.

Корреляционный анализ показал, что ассоциированность наборов данных смещений со стороны целика и по центру выработки высокая (коэффициент корреляции = 0,82), а со стороны целика и со стороны лавы – низкая, табл. 2. Это свидетельствует о том, что, с одной стороны, существуют устойчивые взаимосвязи величин смещений по длине штрека по центру выработки и со стороны целика, а с другой стороны, между боковыми частями выработки

взаимосвязь фактически отсутствует.

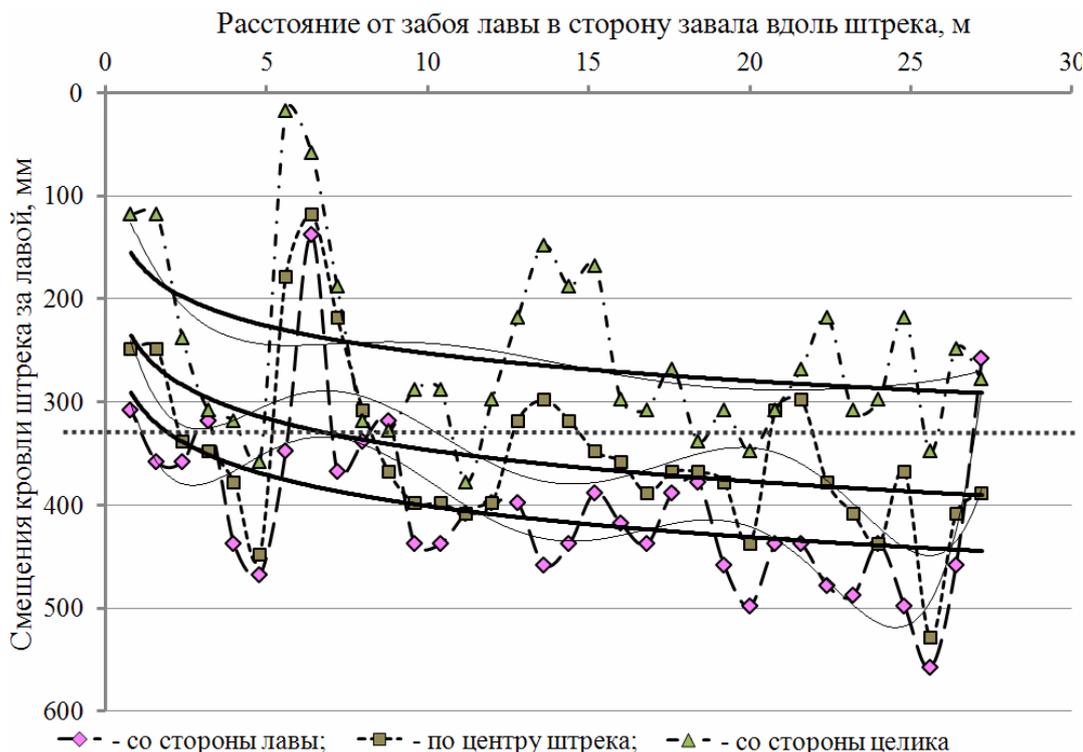


Рис. 6 – Характер смещений кровли штрека в зоне обрушенных пород (пунктиром показан средний уровень установки верхняков арочной крепи)

Табл. 2 – Результаты корреляционного анализа смещений кровли

	Коэффициенты корреляции	
	со стороны лавы	по центру выработки
по центру выработки	0,68	1
со стороны целика	0,45	0,82

Это свидетельствует о том, что условия формирования вязкопластических деформаций кровли по ширине выработки различные. Кровля со стороны лавы до центра штрека разрушается под влиянием квазипериодически изменяющихся сил горного давления, вызванных дезинтеграционными процессами в породном массиве при подвигании очистного забоя с образованием различной величины блочных структур, о чем свидетельствует периодичность изменений величин смещений по длине выработки (линии полиномиального сглаживания, рис. 6). Со стороны целика, напротив, консоль кровли прогибается плавно, увеличивается нагрузка на неустойчивые породы. В результате арочная податливая крепь нагружается неравномерно, максимальное давление наблюдается с боков выработки. Конструкция крепи симметрична и не может воспринимать несимметричные нагрузки. Несоответствие конструкции арочной крепи характеру действующих на нее нагрузок в системе комбинированного крепления приводит к тому, что узлы податливости изгибаются и перекашиваются (иногда рвутся). В результате этого узел податливости, расположенный со стороны массива, не выполняет своих функций, так как начинает работать как шарнир. Происходит разрыв хомутов, разворот и искажение профиля, а затем изгиб

верхняка крепи. Скольжение звеньев прекращается, крепь сначала работает как жесткая конструкция, а затем разрушается. Максимальные деформации рамной крепи наблюдаются с боков, что подтверждает факт недостаточного крепления боков штрека.

В данных условиях целесообразно применять асимметричные крепи соответствующие процессу деформирования закрепленного анкерами породного массива. Асимметричная податливость арочной крепи и упрочненная анкерами приконтурная зона, как элементы управления горным давлением в системе комбинированного поддержания, могут обеспечить в легкообрушаемых горных породах снижение негативного влияния очистных работ на устойчивость штреков, предназначенных для повторного использования.

Сравнение систем поддержания штрека показало, что характер взаимодействия крепи с массивом существенно различается. Анкерная крепь имеет минимальную податливость в пределах упругой деформации штанги и полимерного слоя, а податливые крепи, напротив, имеют большую податливость, незначительный силовой отпор (до 200 кН) и работают как поддерживающая конструкция, препятствуя развитию расслоений и деформаций приконтурной части породного массива. Поэтому совместная работа сталеполлимерной анкерной и стандартной податливой арочной крепи в составе комбинированной системы поддержания обеспечивается только при согласовании их несущей способности и условия соответствия направления податливости нагрузкам от сил горного давления. В отличие от рамно-анкерного крепления рамно-арочная крепь деформируется равномерно, замки податливости работают в податливом режиме, но смещения кровли увеличиваются на 160 мм.

Таким образом, исследована работа систем анкерных, рамно-арочных и комбинированных систем поддержания выемочных штреков в условиях легкообрушаемых пород Западного Донбасса. Установлены закономерности деформирования выработки под влиянием очистных работ и оценены в шахтных условиях особенности работы систем индивидуального и комбинированного крепления впереди лавы и в зоне влияния очистных работ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проект "Програми перспективного розвитку вугільної галузі на середньостроковий період до 2015 р." [Електронний ресурс] / Міністерство вугільної промисловості України. – Режим доступу: <http://www.mvp.gov.ua/>. – Загол. з екрану.
2. Практический опыт повышения эффективности угледобычи и безопасности труда в сложных горно-геологических условиях [Текст] / И.Н. Слащев, С.А. Курносов, Е.А. Слащева и др. // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2009. – № 11. – С. 20-25.
3. Булат, А.Ф. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт [Текст] / А.Ф. Булат, В.В. Виноградов. – Днепропетровск: Вільпо, 2002. – 372 с.
4. Порядок применения «Технологического регламента поддержания повторно используемых выемочных штреков комбинированными охранными системами» [Текст] / А.Ф. Булат, Б.М. Усаченко, В.Н. Сергиенко и др. // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2009. – Вып. 83. – С. 3-13.
5. Слащев, И. Н. Прогноз устойчивости систем комбинированного поддержания подготовительных выработок в сложных горно-геологических условиях глубоких шахт [Текст] / И.Н. Слащев // Сб. науч. трудов НГУ. – Днепропетровск : РИК НГУ, 2010. – № 35, Том 1. – С. 67-77.

## **ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ОТРАБОТКИ НАКЛОННЫХ И КРУТОНАКЛОННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ С ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ УГЛОМ ЗАЛЕГАНИЯ НА МАЛЫХ ГЛУБИНАХ**

Наведено аналіз діючих технологічних схем відпрацювання похилих та крутопохилих вугільних пластів в різних гірничо-геологічних умовах, виявлені переваги і недоліки кожної із схем та можливості їх використання при зміненнях кута залягання пластів і малих глибин розробки

## **WAYS OF PERFECTION OF TECHNOLOGICAL SCHEMES OF WORKING OFF INCLINED AND STEEP-INCLINED COAL SEAMS WITH A CHANGING ANGLE OF DIP AT SHALLOW DEPTHS**

Are analysed of existing technological schemes of working off inclined and steep-inclined coal seams in different mining-and-geological conditions, identified the advantages and disadvantages of each of the schemes and their possible use in the changes the angle of dip and small depths of working out

Анализ научных исследований и опыта эксплуатации различных технологических схем отработки наклонных и крутонаклонных угольных пластов в различных горно-геологических условиях шахт Украины показал, что их разработка и совершенствование является весьма сложной и до настоящего времени в полной мере не решенной проблемой. Это вызвано тем, что имеется совершенно недостаточно данных для обоснованного проектирования технологий и их параметров, обеспечивающих эффективную и безопасную добычу угля при таком огромном многообразии влияющих факторов даже в конкретных условиях ведения очистных работ.

В различные периоды времени разработан и широко применяется на шахтах целый ряд технологических схем отработки наклонных и крутонаклонных угольных пластов, каждой из которых присущи свои преимущества и недостатки. К таким схемам следует отнести: с потолкоуступной и почвоуступной формой забоя пласта, отрабатываемого молотками; с прямолинейной формой забоя пласта, отрабатываемого по простиранию выемочными комбайнами или струговыми установками. На крутопадающих пластах Центрального района Донбасса испытаны и показали удовлетворительные результаты технологические схемы с диагональной формой забоя пласта [1, 2] или отработкой полосами по падению с применением щитовых агрегатов [3]. Каждой схеме присущи свои недостатки и преимущества. Однако все их объединяют критерии оценки возможности и эффективности применения в конкретных горно-геологических условиях, к которым относятся: мощность пласта, угол его залегания, прочностные и деформационные свойства вмещающих пород, категория их устойчивости и обрушаемости, сопротивляемость угля резанию, степень выбросоопасности и