

**ВІСНИК**  
Кременчуцького  
Національного  
Університету  
Імені Михайла  
Остроградського

Випуск 5/2011 (70)

Кременчук – 2011

Солодянкин А.В., Гапеев С.Н., Государственный ВУЗ «НГУ», Украина  
Раскидкин В.В., проектно-конструкторского бюро НПО «Механик»

### **ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СОПРЯЖЕНИЙ ПРОТЯЖЕННЫХ ВЫРАБОТОК ШАХТ**

Приведен анализ состояния сопряжений протяженных выработок. Определены расчетные показатели параметров сопряжений выработок. Рассмотрены условия поддержания наклонных выработок и их сопряжений на шахте им. В.М. Бажанова. Приведены результаты шахтных исследований состояния сопряжений капитальных выработок шахты им. В.М. Бажанова.

**Ключевые слова:** протяженные выработки, сопряжения, шахтные исследования, поддержание выработок

Солодянкин О.В., Гапеев С.М., Раскидкин В.В.

### **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ СПОЛУЧЕНЬ ПРОТЯЖНИХ ВИРОБОК ШАХТ**

Наведений аналіз стану сполучень протяжних виробок. Визначені розрахункові показники параметрів сполучень виробок. Розглянуті умови підтримання похилих виробок та сполучень на шахті ім. В.М. Бажанова. Наведені результати шахтних досліджень стану сполучень капітальних похилих виробок шахти ім. В.М. Бажанова.

**Ключові слова:** протяжні виробки, сполучення, шахтні дослідження, підтримання виробок.

Solodyankin O.V., Gapeev S.N., Raskidkin V.V.

### **PROVIDING STABILITY OF WORKINGS PAIRINGS OF MINES**

The analysis of the state of pairings of the extended workings is resulted. The calculation indexes of parameters of pairings of workings are certain. The terms of maintenance of the sloping workings and pairings are considered on a mine the name of V.M. Bazhanova. The results of the mine researches are resulted after the state of pairings of the capital sloping workings of mine the name of V.M. Bazhanova.

**Keywords:** workings, pairings, mine researches, sloping workings.

#### **Введение.**

Постоянное увеличение глубины разработки на шахтах Украины, рост протяженности подземных выработок, ведение горных работ в сложных горно-геологических условиях значительно обострили проблему поддержания выработок в эксплуатационном состоянии. Применяемые конструкции крепей, в основном подпорно-ограждающего типа, в настоящее время не в состоянии обеспечить устойчивость выработок.

Низкая эффективность способов крепления и поддержания протяженных выработок на глубоких горизонтах шахт обусловлена, в первую очередь, изменением геомеханических условий при их строительстве и эксплуатации. Об этом свидетельствуют значительные расходы на поддержание выработок. Так, доля затрат на проведение, крепление и поддержание выработок в Донбассе составляет 25...45% себестоимости угля [1]. На поддержании и ремонте выработок задействовано 32,3 тыс. чел.

Потери площади сечения подготовительных выработок достигают 60-70%. Это приводит к тому, что более 40% выработок ремонтируется до сдачи в эксплуатацию, 52% выработок деформировано, а 20% их находится в аварийном состоянии. Особо тяжелое положение наблюдается в подготовительных (деформировано 60%) и сопряжениях выработок (деформировано до 80%). В угольной шахте в среднем на 1 км выработок приходится до 6...7 сопряжений, ежегодно их сооружается 18...20 тыс., а эксплуатируется более 60 тыс. [2], поэтому решение вопросов их поддержания является важнейшей задачей.

#### **Анализ состояния и опыта поддержания крепи сопряжений подготовительных выработок.**

Традиционные решения, принимаемые при поддержании сопряжений – усиление крепи за счет увеличения ее плотности либо применения более мощных крепей, не дает положительного результата, как вне, так и в зонах влияния очистных работ. Частым является совершенно необоснованное, противоречащее основным положениям геомеханики решение – поддерживать сопряжения крепью с жестким режимом работы при поддержании примыкающих выработок податливой крепью.

Затраты средств и труда при ремонте сопряжений обычно составляют 60% и выше начальных затрат на их сооружение, а при ликвидации завалов обычно превышают таковые. Трудоемкость ремонта очень высока: в среднем необходимо выполнить 130 операций, из которых только 5 механизированы [3].

Существующие проектные решения обычно учитывают обобщенные горно-геологические, технические и технологические факторы и предусматривают применение традиционных способов поддержания, что приводит к обязательности выполнения дорогостоящего ремонта. Как отмечается в [2], часто не учитывается снижение прочности пород при насыщении водой, которое составляет, например для сланцев 1,5 раза, песчаников – 1,3 раза, аргиллитов и алевролитов – 2 раза. На глубинах до 800 м основная часть сопряжений сооружается и поддерживается в породах с прочностью на одноосное сжатие 25...80 МПа (85%), на глубине 800...1200 м – в породах прочностью 25...100 МПа (95%). Таким образом, условия сооружения и поддержания сопряжений и в перспективе будут неблагоприятными.

Как показывают данные, приведенные в [2], одним из существенных недостатков в проектах является неучет фактического состояния сопряжений. В подавляющем большинстве случаев в проектах закладываются те же решения, которые не оправдались опытом их эксплуатации. Между тем, зарубежный опыт крепления сопряжений капитальных и подготовительных выработок основывается, как правило, на наблюдениях за их состоянием в различных горно-геологических условиях [4]. На основании визуальных наблюдений и обобщений, делается вывод о применении той или иной конструкции крепи. Так, на шахтах Рура существует достаточное количество конструкций крепи сопряжений (более 20), которые выбираются из условий откатки и размещения трубопроводов. В устойчивых породах обычно принимается плоская форма узла сопряжения, в менее устойчивых (породы прочностью до 50 МПа) – сводчатая. Крепь применяется металлическая, анкерная и железобетонная. Закрепное пространство при металлической крепи обычно заполняется цементно-песчаным раствором. Искусственная опора из железобетона между сопрягающимися выработками – «утюг» – выполняется на всю высоту сопряжения. При податливой крепи сопрягающихся выработок крепь узла только податливая.

На шахтах Англии [5] для сопряжений характерно увеличение несущей способности крепи на 20...60%, в том числе при металлической податливой крепи за счет увеличения плотности ее установки.

В Остравско-Карвинском бассейне [2] крепление сопряжений капитальных выработок, число которых по конструктивным характеристикам составляет 8, осуществляется обычно той же крепью, что и протяженных участков, но несущая способность ее увеличивается до 30%. В сопряжениях подготовительных выработок, независимо от их назначения, обычно применяют податливую крепь из колоколообразного профиля, при этом шаг крепи уменьшается на 30...50%. Это характерно для узла сопряжения и трех-пятиметровых участков сопрягающихся выработок.

Следует также отметить, что для угледобывающих стран Европы устанавливается четко регламентированное, обязательное для выполнения время проведения ремонтных работ [4]. При решении вопроса о проведении ремонта учитывается состояние крепи (вмещающего массива) по ожидаемым затратам на ее восстановление и возможность ремонта без остановки выработки. В силу изложенного ремонтные работы в выработках шах Германии и Чехии проводятся при затратах, не превышающих 30% от начальной стоимости крепления (в период сооружения комплекса выработок), т.е. находящихся на уровне стоимости среднего ремонта. Доведение состояния выработок (в т.ч. сопряжений) до необходимости выполнения капитального ремонта не допускается.

**Целью настоящей статьи** является анализ основных положений проектирования крепи сопряжений и результатов натурных наблюдений за состоянием капитальных наклонных выработок и сопряжений на шахте им. В.М. Бажанова для обоснования направлений по повышению устойчивости сопряжений.

#### Анализ основных положений при проектировании крепи сопряжений.

Сопряжением или узлом сопряжений называется переходная общая часть примыкающих, различно ориентированных в пространстве горных выработок (рис. 1) [6]. Многообразие условий требует индивидуального подхода к составлению проекта или паспорта крепления сопряжений горных выработок.

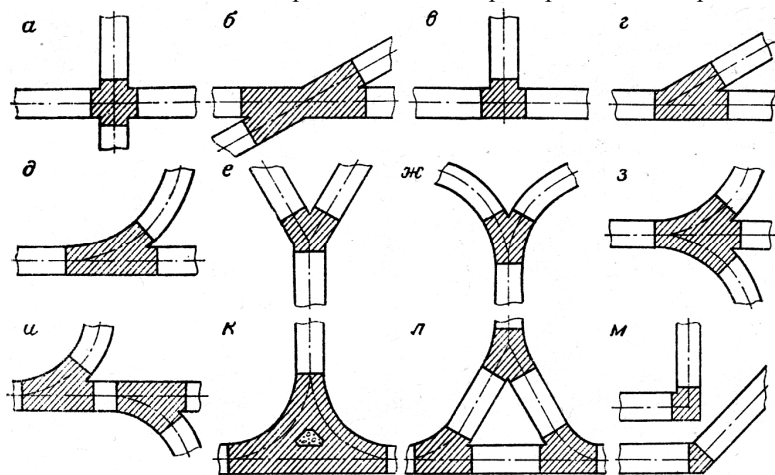


Рис. 1 – Виды сопряжений подготовительных выработок:  
 а – пересечение прямоугольное;  
 б – пересечение остроугольное;  
 в – ответвление прямоугольное;  
 г – ответвление остроугольное;  
 д – ответвление по кривой;  
 е – разветвление (соединение) под углом;  
 ж, з, и – разветвления (соединения) по кривой;  
 к, л – сопряжение «треугольный узел»;  
 м – прямоугольное и тупоугольные примыкания (штриховкой показана крепь сопряжения)

Основными параметрами крепи сопряжений являются несущая способность и величина податливости. Несущая способность крепи и ее податливость на узлах сопряжений подготовительных выработок, как указывается в [6], должны быть не ниже, чем в примыкающих к узлу выработках.

Для сопряжений выработок, размещенных вне зоны существенного влияния очистных работ, необходимая несущая способность податливой крепи определяется по формуле:

$$q = \gamma L^3 \sqrt{\left( e^{\frac{\mu}{\sigma}} - 1 \right)^2}, \quad (1)$$

где  $q$  – несущая способность (отпор крепи) в кровле сопряжения, МПа;  $\gamma$  – объемный вес пород, МН/м<sup>3</sup>;  $L$  – пролет сопряжения, определяемый в разветвлениях на расстоянии 1-2 м от лобовой опоры, для выработок,

примыкающих под углом, близком прямому:

$$L = L_1 + \frac{L_2}{2},$$

где  $L_1$  – ширина магистральной выработки, м;  $L_2$  – ширина примыкающей выработки (рис. 2), м;  $H$  – глубина заложения сопряжения, м;  $\sigma$  – предел прочности породы на одноосное сжатие, МПа.

Предел прочности пород определяется как средневзвешенная прочность по слагающим слоям в кровле на высоту, равную ширине сопряжения.

Расчет величины податливости крепи сопряжений, размещенных вне зоны существенного влияния очистных работ, рекомендуется производить по формуле:

$$U = 0,1L \left[ e^{\frac{\gamma H - 10 \left( \frac{\sigma}{\sigma_0} \right)^2 q}{\sigma}} - 1 \right], \quad (2)$$

где  $U$  – смещение пород кровли узла сопряжения, м;  $\sigma_0$  – условная прочность пород ( $\sigma_0 = 30$  МПа).

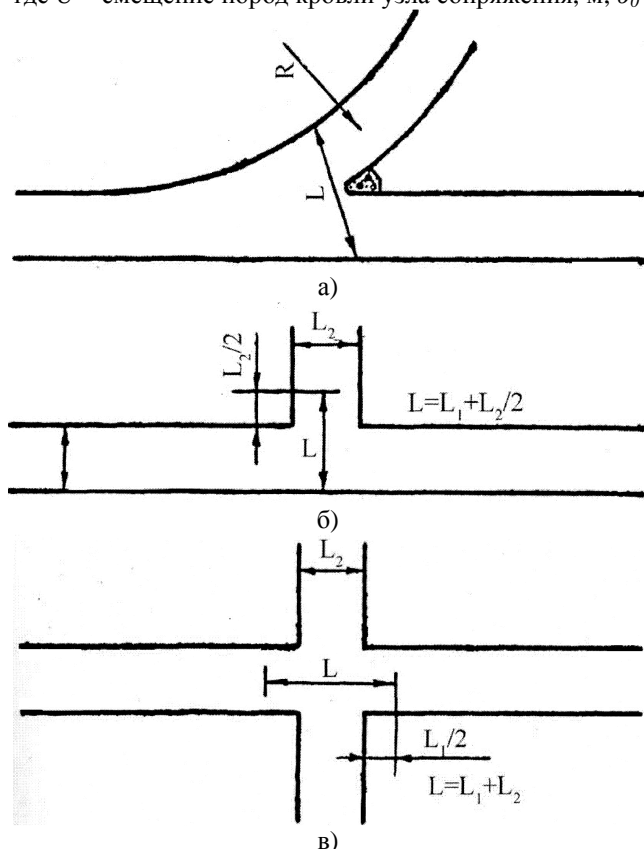


Рис. 2 – Пролеты сопряжений:

а – разветвление; б – примыкание; в – пересечение

Рекомендуемые зависимости (1) и (2) могут быть использованы для расчета параметров сопряжения при условии  $\gamma H / \sigma \leq 0,65$  и предела прочности пород на одноосное сжатие не менее 30 МПа.

Предваряя этап расчета и выбора параметров сопряжения, необходимо отметить следующие важные замечания для получения результатов, соответствующих реальным горно-геологическим и горнотехническим условиям.

Во-первых, в расчетных формулах должна быть учтена реальная прочность массива, с учетом структурной неоднородности пород, степени обводненности, средневзвешенной прочности массива, слагающих толщу и т.д.

Во-вторых, в указанных формулах не учтена концентрация напряжений, а значит и увеличение нагрузки на крепь сопряжений и смещений породного контура, вызванная влиянием очистных работ, близлежащих выработок, которыми являются также и выработки, примыкающие к сопряжению.

В-третьих, величина пролета, показанная на схемах (рис. 2), должна быть увеличена, поскольку технология сооружения сопряжений, растянутая во времени, а также влияние комплекса выработок, приводит к тому, что область разрушенных пород вокруг сопряжения существенно увеличивается, что эквивалентно увеличению пролета выработки.

Очевидно, что эффективное решение задачи надежного поддержания сопряжений возможно при использовании несущей способности породного массива, что может быть реализовано созданием системы

«крепь-порода» уже в начальный период сооружения сопряжения путем выполнения специальных мероприятий.

Вопросы, где применять дополнительные мероприятия, и каковы их параметры, особенно важны в пределах сопряжений. Исходными данными для этого должны стать результаты натурных исследований.

#### Общая характеристика шахты им. В.М. Бажанова

Как показывает опыт ведения горных работ на шахте им. Бажанова, применение мер охраны и поддержания капитальных выработок и сопряжений не решает задачи обеспечения длительной их устойчивости: наблюдается пучение пород почвы, что требует проведения неоднократных дорогостоящих подрывов вспученных пород.

Условия отработки пласта  $m_3$ , разрабатываемого на шахте, являются тяжелыми из-за наличия в кровле неустойчивых пород, зон размывов, трещиноватости, наличия малоамплитудной нарушенности, сопровождающейся интенсивными газодинамическими явлениями. Учитывая большую глубину залегания, высокую температуру горных пород, условия отработки пласта  $m_3$  следует отнести к весьма сложным.

Непосредственная кровля повсеместно представлена аргиллитом (предел прочности на сжатие 30...40 МПа), который по опыту ведения горных работ характеризуется как мало- и среднеустойчивый. В местах «ложной» кровли и частичных размывов кровля весьма неустойчивая, обрушается на высоту до 3,0 и более метров. Основная кровля представлена легкообрушающимся аргиллитом с пределом прочности на сжатие 30-50 МПа.

Почва представлена в основном алевролитом, в верхней части мощностью 0,20...0,70 м «кучерявой» текстуры, характеризуется как слабо- и среднеустойчивая. Предел прочности на сжатие 30...60 МПа.

Горизонт 1012 м является основным откаточным (отметка минус 752,6 м) и делит шахтное поле на бремсберговую и уклонную части. Запасы бремсбергового поля по пласту  $m_3$  отработаны.

Уклонная часть шахтного поля, где ведется отработка запасов, делится на три панели: восточную, западную и центральную. Запасы уклонного поля обрабатываются в настоящее время в восточной и центральной панелях на отметке минус 1000 м с промежуточными горизонтами 1100 и 1150 м; отработка западной панели осуществляется в первой ступени с гор. 1012 м.

В настоящее время горные работы достигли уровня бывшей нижней технической границы шахты – изогипсы минус 975 м. Шахтой осуществляется доработка запасов в восточной уклонной панели, центральной панели гор. 1150 м и отработка запасов западной панели.

Для обеспечения проветривания выемочных участков в уклонном поле пройдено 15 наклонных выработок с гор. 1012 м. Магистральные выработки уклонного поля проводятся по выработанному пространству ранее отработанных участков после уплотнения обрушенных пород. Все магистральные выработки по пласту  $m_3$  проходятся при помощи комбайнов 4ПП-2. Крепление выработок производится металлической арочной крепью.

#### **Цели и задачи комплекса натуральных исследований**

Комплекс шахтных инструментальных наблюдений выполнялся с целью получения информации о характере развития деформационных процессов в породном массиве в окрестности выработок, исследования величины смещений их контуров и оценки общего состояния в зависимости от изменения горнотехнической обстановки.

Назначением капитальных наклонных выработок является обслуживание горных работ, доставка материалов, транспортирование породы и угля на горизонт откатки, транспорт людей, вентиляция. Такие выработки связаны на своем протяжении с целым рядом участков выработок посредством сопряжений, которые сами по себе являются сложными объектами с точки зрения их поддержания и обеспечения длительной устойчивости.

Таким образом, рассматриваемые объекты можно разделить на две различные с точки зрения условий эксплуатации и приемов обеспечения устойчивости функциональные части – протяженные участки капитальных наклонных выработок и их сопряжения с горизонтальными участковыми выработками. Каждая из этих частей является отдельным объектом для наблюдений.

#### **Выбор объектов и методики для проведения шахтных наблюдений**

Визуальные обследования и замерные станции для проведения инструментальных наблюдений были развернуты в Центральной вентиляционной магистрали (ЦВМ) и Центральном вспомогательном уклоне (ЦВУ) гор. 1100 м уклонного поля. Выбор этих выработок характеризовался следующими причинами:

- значительная важность объектов для развития горных работ на шахте, совместность их назначения (обслуживание работ на нижележащих горизонтах);
- схожесть горно-геологических условий расположения выработок при некоторых различиях в горнотехнических условиях;
- характерность условий проведения выработок и их эксплуатации, что позволяет рассматривать их как представительные объекты для наблюдений.

Обе выработки пройдены в поле ранее отработанной 2-й центральной лавы, однако расположены в пространстве относительно уровня почвы угольного пласта по-разному.

Замерные станции устанавливались на протяженных участках выработок. Визуальному обследованию подвергался Центральный вспомогательный уклон на протяжении от конвейерной магистрали гор 1100 м до тупиковой части и Центральная вентиляционная магистраль на участке от сбойки №1 до сбойки №2, в том числе и сопряжения, расположенные на обследуемых участках.

В ходе визуального обследования выработок, контролировалось общее состояние выработки, наличие и степень нарушения элементов крепи, проявление пучения пород почвы, наличие воды в выработке. Состояние сопряжений в обследуемых выработках оценивалось по тем же параметрам, только решающими были нарушения крепи. Состояние выработок оценивалось относительным показателем устойчивости по формуле

$$\omega = \frac{N_0 - N}{N_0}, \quad (3)$$

где  $N_0$  – общее количество рам крепи на участке, шт.;  $N$  – количество рам крепи, находящихся в неудовлетворительном состоянии, шт.

К рамам в неудовлетворительном состоянии относились те рамы, где отслеживались не менее двух следующих дефектов: значительные деформации верхняка; деформации стоек; деформации или разрыв замков, срыв гаек на замках; значительные деформации сетчатых затяжек; разрушение деревянных затяжек в кровле; просадка верхняка в замках свыше паспортного значения; разрывы тела верхняков и стоек.

#### **Анализ результатов натуральных наблюдений и измерений**

Центральный вспомогательный уклон заложено по почве относительно пласта  $m_3$  (уровень почвы выработки соответствует уровню почвы угольного пласта) и на всем протяжении расположен в уплотненных породах ранее отработанной 2-й Центральной лавы уклонного поля. Паспортное сечение в свету – 14,5 м<sup>2</sup>, крепь – стальная податливая типоразмера КМП-А3-15,5, шаг установки крепи 0,7 м.

Горное давление в ЦВУ проявлялось в основном в виде срабатывания замков, деформаций элементов крепи (чаще всего – верхняков и затяжек в кровле и верхней части стоек в районе замков), сопровождающиеся, как правило, деформациями или разрушением затяжек. На достаточно большой протяженности выработки имело место пучение пород почвы, однако величина его на момент обследования не превышала 15-20 см.

На сопряжениях имеют место нарушения крепи в виде деформаций верхняков и, частично, стоек. На небольшой глубине относительно транспортного горизонта значительных разрушений крепи не обнаружено. На сопряжениях ниже 900 м зафиксирована значительная просадка в замках до 40 см, деформации элементов рам и затяжек, некоторая часть которых в кровле требует замены, так как значительно разрушена и перестает выполнять свои функции. При этом частота установки рам на сопряжении увеличена до 2 рам/м, начиная с расстояния в 5,0 м до и заканчивая 5,0 м после участка сопряжения.

Величина относительного показателя устойчивости  $\omega$  на всех обследованных участках не принимала значений выше 0,7 (рис. 3), а в районе сопряжений – не выше 0,31.

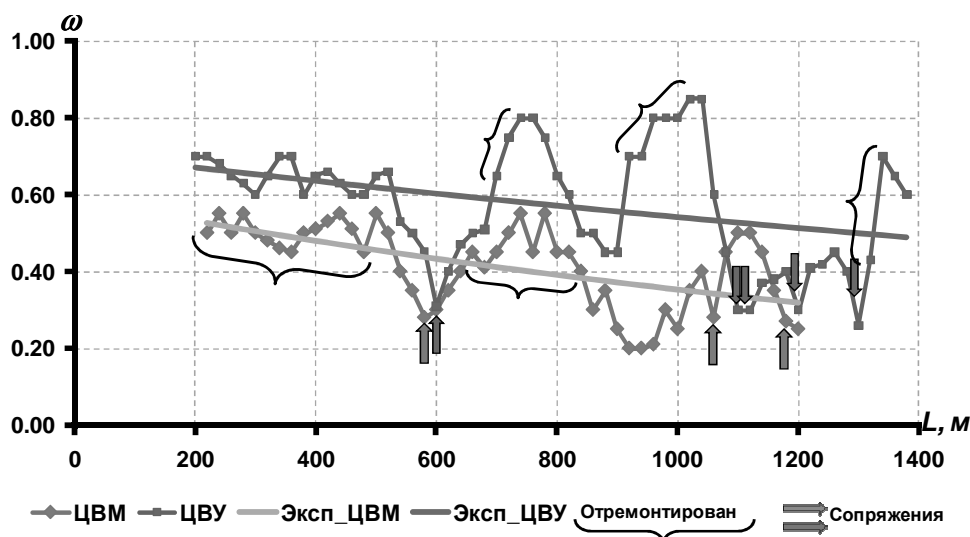


Рис. 3. Изменение величины относительного показателя устойчивости  $\omega$  по длине выработок

В целом состояние выработки на момент обследования можно признать удовлетворительным. С уходом на большую глубину общее состояние выработки ухудшается, интенсивность проявлений горного давления в целом возрастает.

Центральная вентиляционная магистраль (ЦВМ) заложена в кровле относительно уровня пласта  $m_3$  и на всем протяжении расположена в уплотненных породах кровли ранее отработанной 2-й Центральной лавы уклонного поля. Паспортное сечение в свету – 14,5 м<sup>2</sup>, крепь – стальная податливая типоразмера КМП-А3-15,5, шаг установки крепи 0,7 м.

Визуальное обследование ЦВМ показало, что и в этой выработке, так же, как и в ЦВУ, основными проявлениями горного давления являются деформации верхняков рам крепи, деформации вплоть до разрушения затяжек; деформации и разрыв хомутов; пучение горных пород.

В районе сопряжений также крепь устанавливалась с меньшим шагом (0,5 м). Крепь на трех обследованных сопряжениях деформирована, разрушения тела элементов крепи наблюдается на более глубоком сопряжении, разрывов замков не зафиксировано. Вместе с тем, значительное количество затяжек, как в кровле, так и в боках имеет нарушения, с противоположной стороны от устья примыкающих выработок замки сработаны на 35-40 см, прогнуты планки замков, нет некоторых гаек.

Проявления пучения пород почвы имеют место на всем протяжении обследованных участков ЦВМ, величина пучения на момент обследования составила 0,1...0,3 м. Участки сопряжений также подвержены пучению.

Величина относительного показателя устойчивости  $\omega$  на всех обследованных участках не принимала значений выше 0,55, а на участке сопряжений принимала одни из самых низких значений – 0,27...0,28.

Общее состояние выработки значительно хуже, чем Центрального вспомогательного уклона – деформированных участков больше, проявления горного давления при прочих равных условиях интенсивнее, встречаются участки с неудовлетворительным состоянием, в основном за счет разрушения затяжек, пучения пород почвы, деформаций верхняков и нарушений в замках. Стойки во всех случаях имеют деформации значительно меньшие по сравнению с верхняком.

В целом, состояние обследованной выработки следует признать плохим, сопряжения также в неудовлетворительном состоянии. С увеличением глубины ее состояние еще более ухудшается.

#### Выводы.

1. Существующие проектные решения при поддержании сопряжений выработок обычно предусматривают применение традиционных способов, основанных на обобщенных горно-геологических, технических и тех-

нологических данных, что приводит к низкой устойчивости участков сопряжений и обязательности выполнения дорогостоящего ремонта.

2. Актуальным направлением по повышению устойчивости сопряжений является исследование закономерностей деформирования породного массива в окрестности сопряжений выработок и учет этих особенностей в существующих методиках расчета. Эффективное решение задачи надежного поддержания сопряжений возможно при использовании несущей способности породного массива, что может быть реализовано созданием системы «крепь-порода» в начальный период сооружения сопряжения путем выполнения специальных мероприятий.

3. В результате натурных наблюдений, выполненных в Центральной вентиляционной магистрали (ЦВМ) и Центральном вспомогательном уклоне (ЦВУ) гор. 1100 м уклонного поля шахты им. В.М. Бажанова установлены основные проявления горного давления и выполнена оценка состояния выработок и участков сопряжений. Величина относительного показателя устойчивости  $\omega$  в ЦВУ на всех обследованных участках не превышала 0,7, а в районе сопряжений – 0,31. В целом состояние выработки на момент обследования признано удовлетворительным. Величина относительного показателя устойчивости  $\omega$  в ЦВМ на всех обследованных участках не превышала 0,55, а на участке сопряжений принимала одни из самых низких значений – 0,27...0,28. Состояние выработки признано плохим. С уходом на большую глубину заложения общее состояние выработок ухудшается, интенсивность проявлений горного давления в целом возрастает.

4. Результаты визуального обследования показали, что сопряжения являются не только специфическим подземным объектом, работающим в более тяжелых условиях из-за высокой нарушенности вмещающего массива, но и участком, где начинают проявляться первичные деформации, распространяющиеся на протяженные участки выработок, ввиду перераспределения напряжений и деформаций.

5. Для обоснования рациональных параметров способа поддержания сопряжений и прилегающих участков протяженных выработок целесообразно ввести такое понятие, как «зона влияния сопряжения». Для комплекса наклонных выработок шахты им. В.М. Бажанова протяженность участков сопряжений и зон их влияния на выработку составляет от 70 до 160 м.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Tulub S.B. Sostojanje i perspektivi razvitija ugolnoj promishlennosti Ukraini. – K.: Ukrniiproekt, 2007. – 45 s.
2. Koshelev K.V., Ignatovich N.V., Poltavec V.I. Poddrzhanije soprjazenij gornih virabotok. – K.: of Technica, 1991. – 176 s.
3. P'yushenko V.G., Chupika A.N. Puti uluchshenija sostojanija virabotok na shahtah ob'edinenija Doneckugol' // Ugol Ukraine. 1987. – № 1. – S. 5-8.
4. Jacobi O. Praktika upravlenija gornim davlenijem. – M.: Nedra, 1987. – 566 s.
5. Khasan G. Uchet ustojchivosti pri sooruzenii soprjazenij gpodzemnih virabotok // Gornaja nauka i technologya. – 1986. – № 1. – S. 49-57.
6. Rukovodstvo po sostavleniju pasportov krepjenija soprjazenij podgotovitelnih virabotok s metallicheskoj arochnoj i ramnoj trapecievidnoj krepjami v uslovijah pologih plastov shaht Gosugleproma Ukraine. – Donetsk, 1994. – 73 s.