

## **Выводы**

1. Опыт сооружения и эксплуатации шахт в сложных горно-геологических условиях свидетельствует о том, что для обеспечения эксплуатационного состояния выработок необходимо наряду с установкой крепи применять специальные меры по управлению процессом разрушения окружающих пород. Среди мероприятий, воздействующих на окружающий выработку массив, средства, направленные на его упрочнение и предупреждение расслоений, дают наибольший эффект в повышении устойчивости выработок.

2. Эффективным способом повышения устойчивости капитальных выработок является заполнение закрепного пространства торкрет-ангидритом пневматическим способом с радиальной подачей материала за крепь выработки. Шахтные испытания технологии в условиях шахт Западного Донбасса показали ее техническую и экономическую целесообразность.

## **ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СПОСОБА ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СОПРЯЖЕНИЙ ПРОТЯЖЕННЫХ ВЫРАБОТОК**

*В.В. Левит, ООО «Шахтостроительная компания "Донецкшахтопроходка"» (г. Донецк);  
В.В. Раскидкин, проектно-конструкторское бюро ООО «Донпромбизнес» (г. Донецк), Украина*

Установлены параметры способа повышения устойчивости сопряжений основных подготовительных выработок с использованием анкерных систем крепи и предложен комплекс мероприятий по обеспечению их безремонтной эксплуатации.

## **Введение**

Постоянное увеличение глубины разработки на шахтах Украины, рост протяженности подземных выработок, ведение горных работ в сложных геомеханических 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 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, с одновременным увеличением доли применения металлической крепи. Так, доля затрат на проведение, крепление и поддержание выработок в Донбассе составляет от 25% [1] до 45% себестоимости угля [2]. На поддержании и ремонте выработок задействовано 32,3 тыс. чел. (при общей численности горнорабочих очистного забоя – около 54 тыс.).

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. Деформируются практически все выработки, но 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. [3].

По сравнению с протяженными участками выработок сопряжения являются более сложными объектами с точки зрения как геомеханики, так и технологии сооружения. Это объясняется большими пролетами, сложной формой и конструкцией крепи, взаимным влиянием сопрягающихся выработок. На сопряжения приходится и повышенная доля травматизма в процессе их проведения и эксплуатации. Периодические ремонты, перекрепление и подрывка пород не решают проблемы обеспечения устойчивости сопряжений. Причиной плохого состояния сопряжений, в первую очередь, является несоответствие крепи и способов охраны геомеханическим условиям их эксплуатации.

В технической литературе и нормативных документах под сопряжением понимают только узел пересечения или примыкания выработок и не учитывают состояние породного массива, на участках выработок, примыкающих к узлу.

Кроме того, существующие методики расчета обычно учитывают обобщенные горно-геологические и технологические факторы и предусматривают применение традиционных способов поддержания, что приводит к необходимости выполнения ремонтных работ.

Таким образом, исследования, направленные на повышение устойчивости сопряжений протяженных выработок угольных шахт и снижение затрат, связанных с их эксплуатацией, являются чрезвычайно актуальными.

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

Одним из передовых предприятий Центрального Донбасса является ГП «Макеевуголь». В его состав входят девять шахт. Основные запасы угля объединения сосредоточены на глубине от 600 до 1200 м. Наиболее крупным и перспективным предприятием, как по объемам добычи угля так и по проведению протяженных выработок является шахта им. 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 подрывок вспученных пород с привлечением на эти работы значительных людских, материальных и финансовых ресурсов.

Условия отработки пласта  $m_3$ , разрабатываемого на шахте, являются тяжелыми из-за наличия в кровле малоустойчивых и неустойчивых пород, зон размывов, трещиноватости, наличия малоамплитудной нарушенности, сопровождающейся интенсивными газодинамическими явлениями.

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 отрабатываются 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 отработки запасов в уклонном поле намечено строительство 15 наклонных выработок с гор. 1012 м. Магистральные выработки уклонного поля будут проводиться по выработанному пространству ранее отработанных участков после уплотнения обрушенных пород. Крепление штреков, квершлагов, уклонов будет производиться металлической арочной крепью. В таких условиях важным вопросом является обеспечение устойчивости сопряжений протяженных выработок, снижение затрат на их поддержание во время эксплуатации.

### **Обоснование параметров способа обеспечения устойчивости сопряжений подземных выработок.**

Анализ средств и способов поддержания сопряжений капитальных и подготовительных выработок шахт показал, что наибольший эффект в повышении устойчивости выработок, дают мероприятия, направленные на создание взаимодействующей системы "крепь-массив", упрочнение и предупреждение расслоений приконтурных пород: частичное или полное заполнение закрепного пространства, глубинное или приконтурное упрочнение массива вяжущими веществами или анкерами.

В соответствии с «Паспортом безопасного ведения работ при возведении узла сопряжения», принятом на шахте, для повышения несущей способности крепи и обеспечения устойчивости узла сопряжения, в основной выработке на расстоянии 3 м до и после него, а также в примыкающей выра-

ботке уменьшают шаг крепи с  $L_k = 0.7$  м до  $L_k = 0.5$  м. Однако выполненные ранее на протяженных участках и узлах сопряжений инструментальные исследования свидетельствуют, что принятое решение положительного эффекта не дает [4]. И хотя данный факт известен и неоднократно подчеркивался ведущими специалистами в области шахтного строительства [3, 5, 6], увеличение плотности крепи выработок в сложных условиях часто принимается как обоснованное эффективное решение.

Рассмотрим возможность применения анкерной крепи для повышения устойчивости узлов сопряжений выработок и степень эффективности предложенного способа.

Применение компьютерной техники на стадии обоснования технологических параметров позволяет подвергнуть детальному анализу различные варианты реализации исследуемого способа. Для выполнения исследований используем программный комплекс Phase 2 канадской лаборатории геомеханики Rockscience.

Данный программный комплекс позволяет учесть разрыхление пород в процессе их деформирования и предназначен для анализа напряженно-деформированного состояния породного массива в окрестности подземных и открытых горных выработок. Программа реализована на методе конечных элементов с учетом упругопластических свойств вмещающих пород, позволяет разрабатывать сложные многоступенчатые модели для различных горно-геологических условий проведения выработок, в том числе и для сложных, например, для трещиноватых структурно неоднородных и обводненных породных массивов.

Программный комплекс Phase2 предлагает большую возможность выбора типов крепи горных выработок, таких как бетонные конструкции, металлические рамные крепи, анкерные системы и т.д. Кроме того, есть возможность задавать различные типы анкеров с разными способами закрепления.

Численные исследования заключаются в оценке степени влияния анкеров, их количества и схемы расположения на устойчивость узла сопряжения.

Результаты исследования НДС массива пород вокруг узла сопряжения и прилегающих участков протяженных выработок, позволяют установить следующие параметры способа повышения их устойчивости.

1. Как известно, наиболее устойчивой конструкцией сопряжения (с наименьшей концентрацией напряжений) является примыкание выработки под углом, близким к  $90^\circ$ . Для уменьшения сложностей при креплении и последующем поддержании сопряжения, целесообразно проектировать пересечение с двумя разнесенными ответвлениями вместо двустороннего, таким образом, снизив площадь обнажения породного массива на сопряжении.

2. Наиболее эффективным средством снижения смещений контура и предупреждения чрезмерных смещений приконтурного массива пород в данных условиях являются анкеры. Установленные сразу после выемки пород на участках будущего сопряжения, анкеры длиной  $l_a = 2,4$  м совместно с рамной крепью создадут эффективную грузонесущую армопородную конструкцию.

3. Известно, что в наибольшей степени подвержено расслоению и повышенным смещениям место непосредственного пересечения (примыкания) выработок. Область разрушенных пород в этом месте может превышать длину стандартного армополимерного анкера. Поэтому эффективным конструктивным решением для данного участка будет использование канатных анкеров длиной  $l_k$  на менее 6 м, устанавливаемых под углом  $\alpha = 45^\circ$ .

4. Что касается длины участка выработки, примыкающего к сопряжению, требующего дополнительного укрепления анкерами, то полученные результаты натуральных исследований [4] позволяют ограничить его размером 20 м в обе стороны от места пересечения (примыкания).

5. Формирование сопряжения необходимо выполнять с наименьшим отставанием от забоя основной выработки. Рациональной схемой считается разделка сопряжения после проходки участка, длиной 20 м от места примыкания выработки, закрепленного анкерами.

На рис. 1 приведена расчетная схема к определению параметров анкерных систем.

Целью решаемой задачи является:

1. Определение расстояния между анкерами в ряду – величина  $a$ .
2. Определение количества рядов анкеров при соответствующем расстоянии между ними – величина  $b$ .

На рис. 2 показана картина перемещений на контуре сопряжения при отсутствии анкеров.

На рис. 3, а и 3, б, в качестве примера, приведены результаты моделирования в соответствии с расчетной схемой для одного ряда анкеров, с шагом анкерования 1 м и 2 м соответственно.

Такие же расчеты были выполнены для двух, трех и четырех рядов анкеров с варьированием шага установки анкеров от 0,5 до 2 м. Результаты моделирования представлены на рис. 4 и 5. На рис. 4 показано, как изменяются перемещения на контуре сопрягающихся выработок в зависимости от числа рядов анкеров и количества анкеров в ряду.

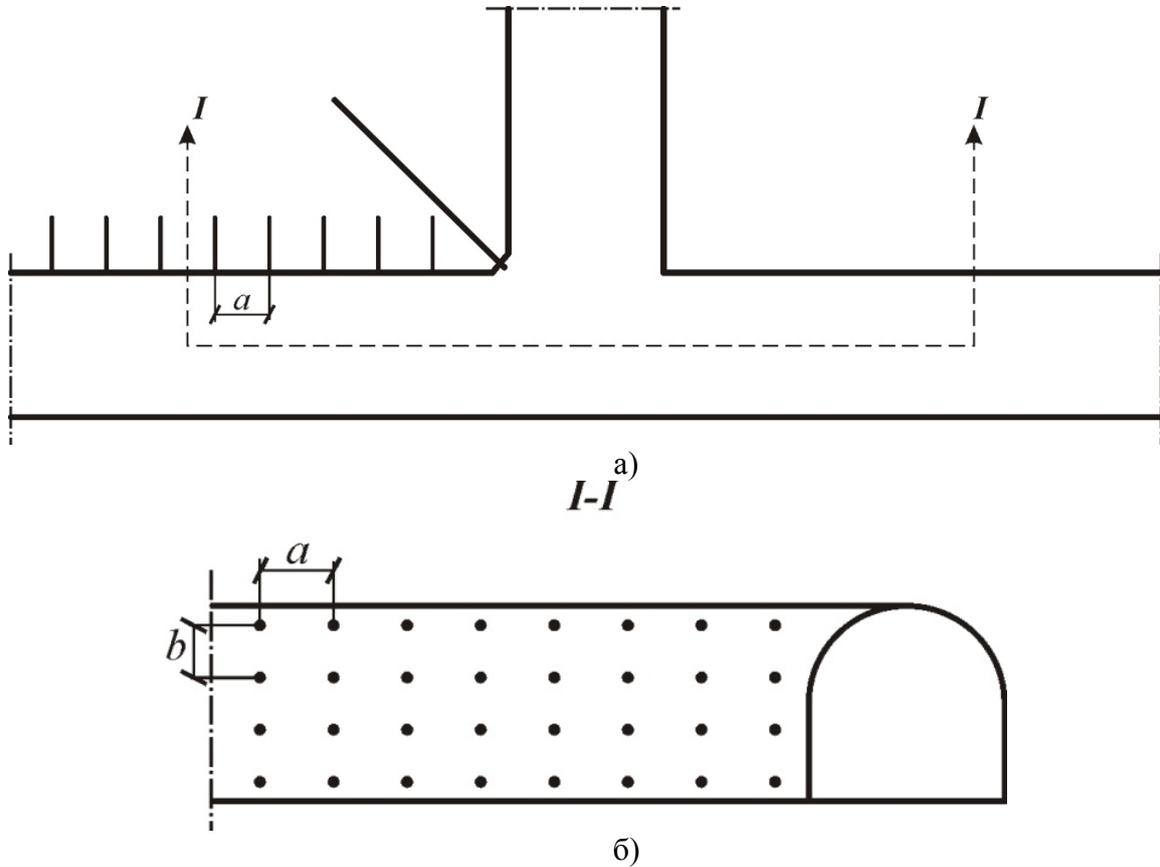


Рис. 1. Расчетная схема к определению параметров анкерных систем:  
 а) схема расположения анкеров по длине выработки;  
 б) схема расположения анкеров по высоте выработки

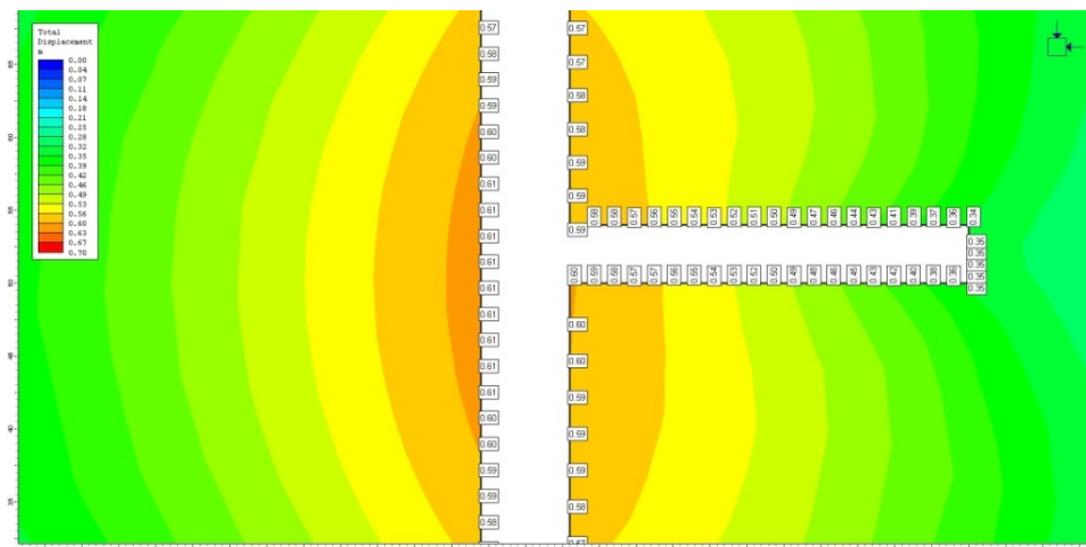


Рис. 2. Перемещение на контуре выработки без анкеров

Из графика следует, что все зависимости подчиняются полиномиальному закону

$$U_0 = a \cdot N^3 - b \cdot N^2 + c \cdot N + d, \quad (1)$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  – коэффициенты аппроксимации.

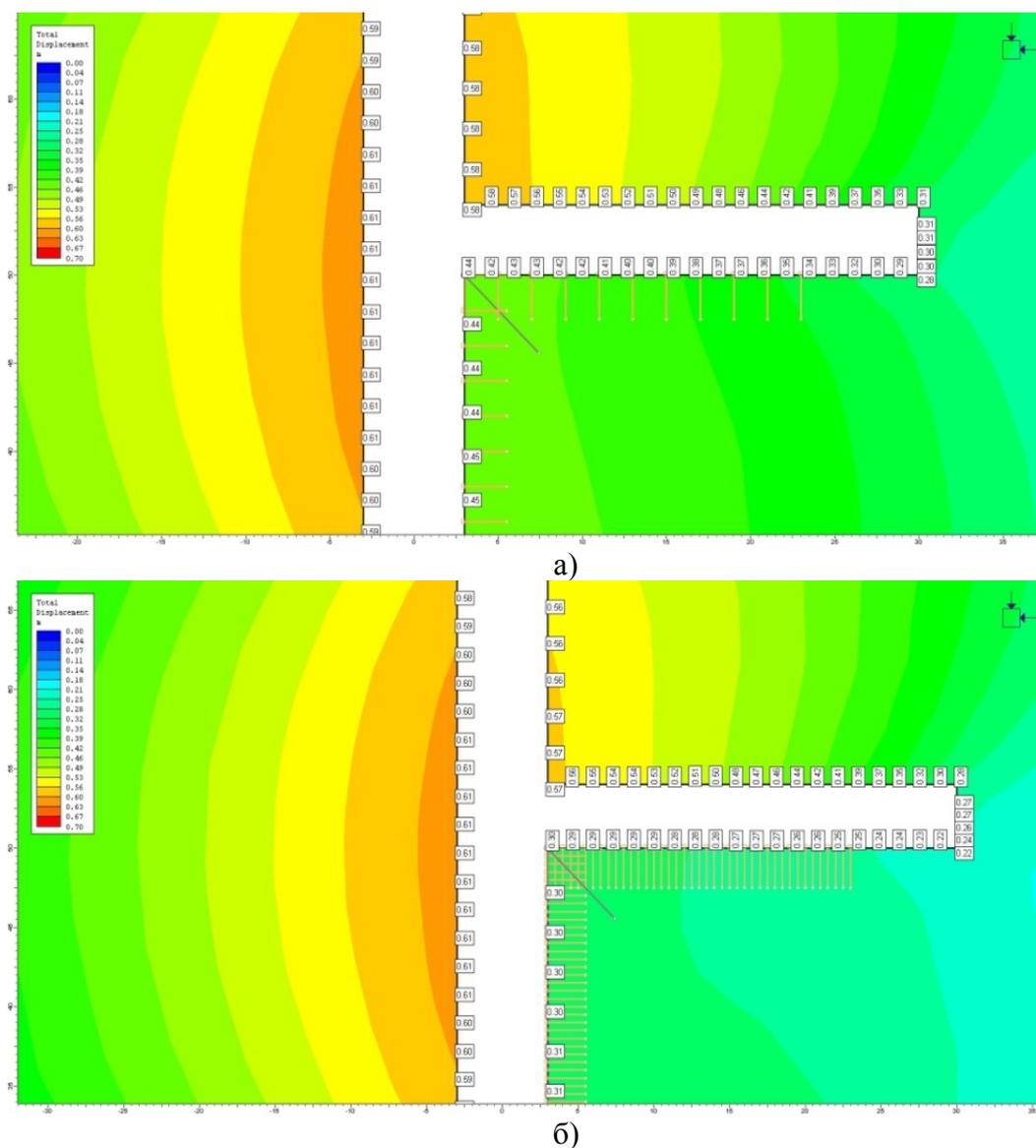


Рис. 3. Перемещение на контуре выработки при наличии одного ряда анкеров:  
 а) анкера с шагом 2 м; б) анкера с шагом 1 м

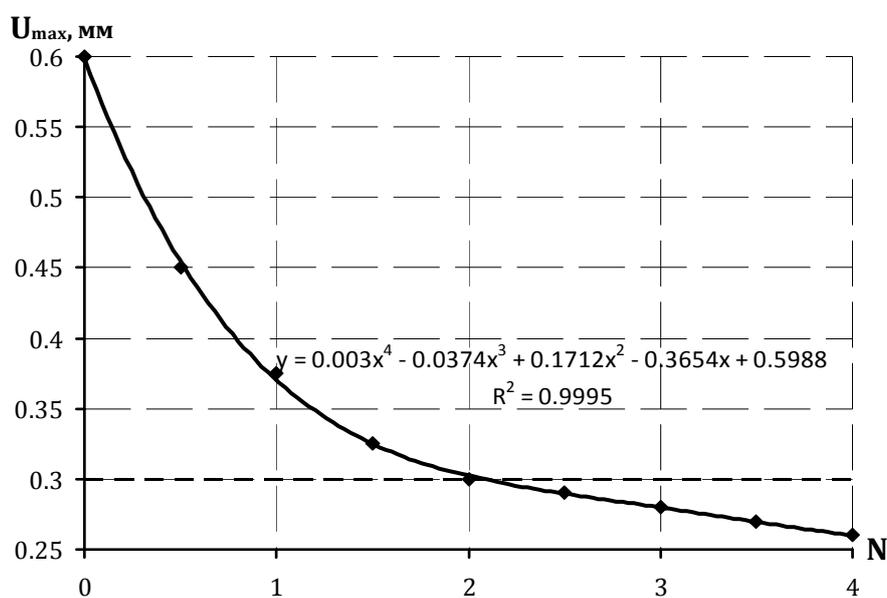


Рис. 4. Зависимость перемещений на контуре выработки от числа рядов анкеров

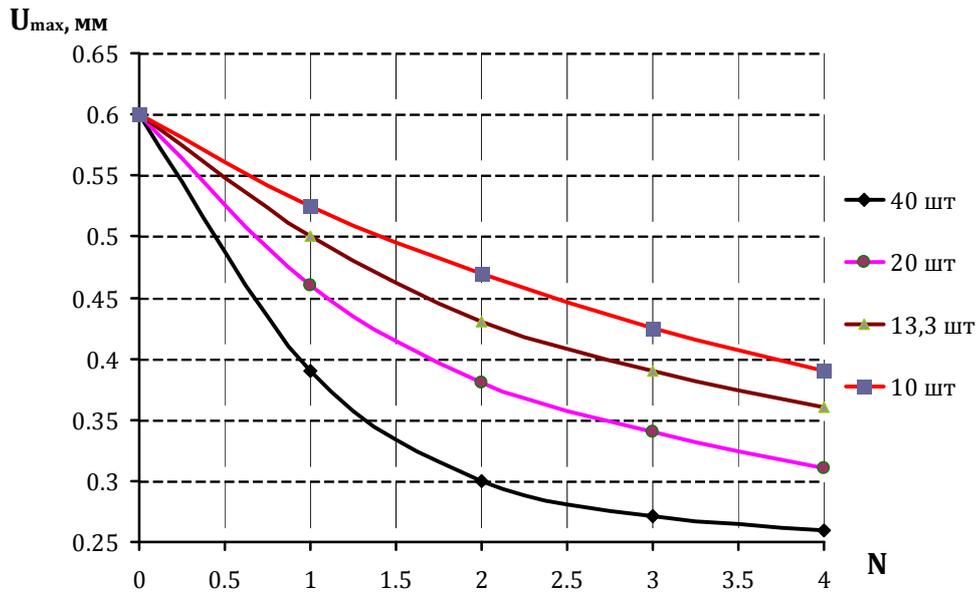


Рис. 5. Зависимость перемещений на контуре выработки от числа анкеров в ряду

Из всех вариантов принятых конструкций анкерных систем для рассматриваемых горно-геологических условий при стандартной длине анкерного болта 2,4 м подходит следующая комбинация:

- число рядов – 2;
- расстояние между анкерами – 0,5 м.

При этом смещения контура выработок снижаются от 0,6 м до 0,3 м, что предупреждает выполнение работ, связанных с перекреплением выработки и подрывкой вспученных пород почвы.

В работе [7] установлена связь между показателем устойчивости выработки и смещениями контура выработки  $\omega(T) = f(u)$ , представленная на рис. 6. Снижение смещений контура выработки на сопряжении до величины 0,3 м позволит повысить устойчивость узла сопряжения в 2,1 раза.

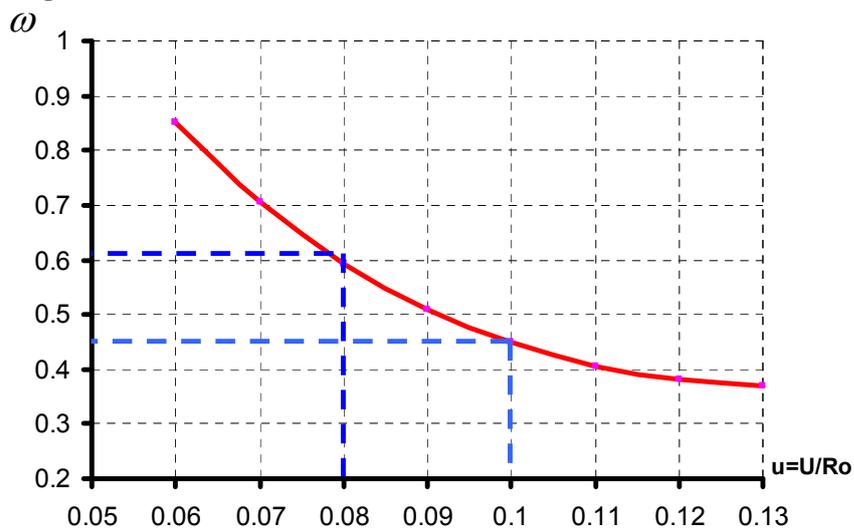


Рис. 6. Зависимость коэффициента устойчивости выработки от величины смещений контура

Кроме выполнения основных рекомендаций по повышению устойчивости сопряжения, обязательными условиями выполнения всех технологических мероприятий должны быть следующие:

- окружающий выработку массив сразу же после обнажения необходимо включать в работу системы «массив-выработка-крепь»;
- при установке несущей конструкции должен быть обеспечен равномерный плотный контакт крепи и породного контура;
- повышенный отпор окружающим породам необходимо обеспечивать за счет использования технических средств, имеющих малую материалоемкость и высокие силовые характеристики (крепь усиления, несущая податливая забутовка, рукава «Буллфлекс» и др.);
- способы обеспечения устойчивости выработки должны в максимальной степени использовать несущую способность приконтурного массива путем повышения эффективности отпора самой крепи и использования средств усиления;
- конструкция крепи или применение средств усиления должно учитывать негативное влияние несимметричной нагрузки;
- повышенное внимание при сооружении узла сопряжения следует уделять состоянию породных обнажений, в частности, размеру неровностей породного контура. В этой связи особое значение приобретает соответствие фактического сечения проектному.

**Выводы.** По результатам выполненных исследований установлены рациональные параметры способа повышения устойчивости сопряжений протяженных выработок с использованием анкерных систем, обеспечивающие их безремонтное поддержание.

Ожидаемый экономический эффект от использования рекомендаций по повышению устойчивости сопряжений за счет исключения ремонтных работ, связанных с полным перекреплением узла сопряжения составит 543.083 тыс. грн.

#### Список литературы

1. Овчинников В.Ф., Дротик В.А., Иваненко А.М. Влияние усиленной анкерной крепи и охранной бутовой полосы на устойчивость пластовой выработки // Уголь Украины. – 2006. - № 5. – С. 17-18.
2. Тулуб С.Б. Состояние и перспективы развития угольной промышленности Украины. – К.: УкрНИИпроект, 2007. – 45 с.
3. Кошелев К.В., Игнатович Н.В., Полтавец В.И. Поддержание сопряжений горных выработок. – К.: Техника, 1991. – 176 с.
4. Раскидкин В.В. Исследования состояния капитальных наклонных выработок и сопряжений на шахте им. В.М. Бажанова / А.Б.Олексюк, С.Н. Гапеев, В.В. Раскидкин // Форум гірників: міжнар. наук. - техн. конф., 12-15 жовт. 2011 р.: матеріали. – Дніпропетровськ: НГУ, 2011. – С. 189-193.
5. Шевченко В.В., Тупиков Б.Г., Селезень А.Л. Влияние плотности крепи на смещения пород в подготовительных выработках // Уголь Украины. – 1988. – № 4. – С. 13-15.
6. Заславский Ю.З., Зорин А.Н., Черняк И.Л. Расчеты параметров крепи выработок глубоких шахт. – Техніка, 1972. – 156 с.
7. Солодянкин А.В. Геомеханические модели в системе геомониторинга глубоких угольных шахт и способы обеспечения устойчивости выработок. - Дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.04., 05.15.09. Дніпропетровськ. – 2009. – 426 с.