

УДК 622.281.74

КАСЬЯН Н.Н., ПЕТРЕНКО Ю.А., НОВИКОВ А.О., ШЕСТОПАЛОВ И.Н. (ДОННТУ)

## **О ДЕФОРМИРОВАНИИ МАССИВА В ОКРЕСТНОСТИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК С АНКЕРНЫМ КРЕПЛЕНИЕМ**

*В статье описаны результаты натурных наблюдений за смещениями породного массива, вмещающего подготовительные выработки с анкерным креплением*

*In article results of mine tool supervision over displacement of the pedigree rock massif containing mining with roof bolting by fastening are described*

### **Постановка проблемы**

Угольная промышленность – одна из ведущих отраслей народного хозяйства, важнейшая задача, которой в условиях рыночной экономики состоит в повышении эффективности производства и снижении себестоимости продукции. К 2010 году намечено увеличить добычу угля до 100 млн.т. За последние годы правительством Украины разработаны и утверждены две программы, цель которых – повысить эффективность работы угольной промышленности. Это «Програма реформування і фінансового оздоровлення підприємств вугільної промисловості на 2000-й рік» и «Українське вугілля». Выполнение этих программ, направленных на внедрение в угольной промышленности передовых технологий обеспечило бы поступательное развитие экономики всей страны. В настоящее время техническое состояние шахтного фонда угольной промышленности Украины продолжает ухудшаться. Так, около 80% угольных шахт работают без реконструкции более 20 лет, причем третья часть из них введена в эксплуатацию в довоенный период. Учитывая то обстоятельство, что последние 14 лет ежегодно терялось 7,6 млн. тонн производственных мощностей, для выполнения поставленных перед отраслью задач необходимо резко увеличить объемы проведения горных выработок, среди которых 70-80% занимают вскрывающие и подготовительные. За последние 20 лет количество шахт, ведущих разработку угля на глубине более 700 м, выросло в 2 раза.

Увеличение глубины разработки угольных пластов, развитие на них очистных работ приводит к интенсивному воздействию горного давления на устойчивость подземных выработок через различные формы его проявления, которые зависят от совокупности влияния целого ряда горно-геологических и горнотехнических факторов, присущих условиям каждой шахты. Несмотря на снижение протяженности горных выработок угольных шахт Украинского Донбасса в связи с их закрытием за последние годы и увеличением затрат на ремонт этих выработок, состояние последних не улучшается. В среднем, 15% из них по протяженности на конец каждого года не удовлетворяет эксплуатационным требованиям. Одной из основных причин такого положения является высокая трудоемкость работ по содержанию выработок при весьма низком (1,5-2%) уровне их механизации.

На сегодняшний день около 90% поддерживаемых на шахтах выработок закреплены металлической арочной податливой крепью. Более половины от протяженности этих выработок деформирована.

Как система крепления арочная крепь имеет ряд недостатков. Фактически она не поддерживает выработку до тех пор, пока вмещающие породы не разрушатся и не начнут смещаться в выработку, нагружая рамы крепи. То есть, крепь работает в пассивном режиме и не препятствует разрушению вмещающего массива. Кроме этого основными недостатками применения арочной крепи являются:

1. Большая металлоемкость.
2. Крепь не включается в работу сразу после обнажения породного контура выработки.

3. Невозможность полной механизации процесса крепления (затяжка рам и забутовка закрепного пространства производится вручную. Трудоемкость процесса крепления выработки арочной крепью достигает 80% от общей трудоемкости проведения выработки).

4. Традиционная конструкция арочной крепи не соответствует условиям ее нагружения (нет соосности между направлением податливости крепи и направлением наибольших смещений контура выработки).

Кардинально улучшить технические и экономические показатели работы шахт, а также состояние горных выработок можно путем применения анкерной крепи. На угольных шахтах за рубежом происходит неуклонное увеличение объемов применения анкерного крепления, доля которого уже сегодня составляет: Австралия – 87%, КНР -83 %, США -52 %. Это позволяет в 5–10 раз уменьшить расход металлопроката, бетона, леса; в 3–5 раз повысить производительность работ при креплении выработок; в 2–3 раза повысить темпы проходки; вдвое сократить затраты на крепление и поддержание крепи в рабочем состоянии в период эксплуатации.

Так, например, применение анкерного крепления на шахтах Великобритании позволило снизить долю затрат на проведение выработок в себестоимости 1 т угля с 42% при металлоарочном креплении до 15% при анкерном креплении. При этом темпы проведения выработок составили 650–680 м/месяц.

#### **Обзор последних исследований и публикаций по данной проблеме**

Для широкого внедрения мирового опыта на шахтах Украины по приказу министра угольной промышленности в 1997 году была создана программа «Анкер», в которой одним из приоритетных направлений снижения затрат на добычу угля есть разработка, изготовление и внедрение новых технологий использования анкерной крепи. Головной организацией по реализации этой программы назначен ИГТМ НАН Украины, на базе которого создан «Центр анкерного крепления». Несмотря на определенные успехи в деятельности «Центра» (популяризация анкерного крепления, издание учебно-методической литературы и т.п.), объем крепления выработок анкерной крепью в настоящее время составляет не более 70 км. На наш взгляд, основной причиной, препятствующей широкому внедрению анкерной крепи на шахтах Украины является недостаточное понимание ее роли в процессе поддержания выработки и как следствие, отсутствие нормативной базы по обоснованию параметров анкерной крепи. В настоящее время расчет параметров анкерной крепи производится в соответствии с требованиями нормативных документов [1,2,3,4], в основу которых положены представления об анкерной крепи как о несущей конструкции, работающей по схемам «Подшивка» и «Сшивка». Исходя из такого понимания механизма работы анкерной крепи, расчет ее параметров производится по методике, предполагающей, что нагрузка на крепь формируется за счет разрушения вмещающего выработку массива и смещений пород в полость выработки. Это приводит к ограничению области применения анкерной крепи второй категорией устойчивости выработок (смещения контура не превышают 200 мм) и завышению значений плотности установки анкеров, что делает применение анкерной крепи экономически не целесообразным.

В научно-технической литературе представлено большое количество результатов исследований характера взаимодействия различных конструкций крепи (в том числе и анкерной) с массивом. Это работы А.П.Широкова, В.Т.Глушко, А.А.Борисова, Н.И.Мельникова, Л.М. Ерофеева, А.Н.Зорина, Б.К.Чукуна, А.В. Ремезова, И.А.Юрченко, А.Н.Шашенко, В.В.Виноградова, А.Югона, А.Коста и др. В них достаточно глубоко исследованы механизм формирования нагрузки на рамные крепи, особенности и закономерности деформирования вмещающего выработки массива. Однако, в работах, посвященных анкерному креплению, в основном рассмотрены вопросы конструкции анкеров, технологии их возведения и расчета параметров. При этом анкера рассматриваются как несущие конструкции, без учета особенностей их взаимодействия с вмещающим массивом.

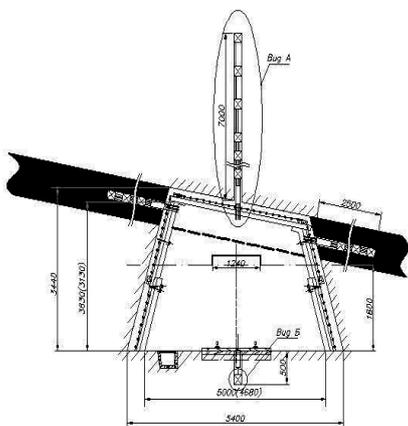
### Основные результаты исследований

С целью изучения особенностей деформирования массива, в окрестности подготовительных выработок с анкерным креплением, авторами статьи проводятся шахтные инструментальные наблюдения за смещениями пород в подготовительных выработках по пластам  $k_8^H$ ,  $m_5^{1B}$  и  $m_4^0$  шахты «Добропольская» [5,6,7]. Наблюдения за состоянием выработок и вмещающих пород проводятся с момента их проведения. Состояние выработок оценивалось визуально, а характер деформирования вмещающих пород – путем наблюдения за смещениями глубинных реперов. Всего в выработках было оборудовано 23 замерных станции, наблюдения на которых осуществляются в течение трех лет и в настоящее время продолжаются.

В качестве примера познакомимся с результатами наблюдений в шестом северном конвейерном штреке пласта  $m_5^{1B}$  горизонта 450 м. Выработка длиной 1840 м проведена комбайном со средней скоростью 280 м/мес. При отработке лав по пласту  $m_5^{1B}$  на шахте применяется столбовая система разработки с выемкой столбов по простиранию.

Непосредственная кровля пласта представлена алевролитом, малоустойчивым БЗ со свойствами близкими к аргиллиту. Выше залегает песчаник средней крепости. Еще выше – аргиллит средней крепости, малоустойчивый (БЗ). Угольный пласт  $m_5^{1B}$  сложного строения, общей мощностью от 1,10 до 1,40 м и прочностью на сжатие 15 МПа. Угол падения – 10 градусов. Непосредственно в почве пласта залегает аргиллит средней крепости, среднеустойчивый (П2). Основная почва – песчаник средней крепости.

Выработка закреплена связной анкерной крепью со стороны кровли. Плотность установки сталеполимерных анкеров в кровлю – 1,0 анк/м<sup>2</sup>. Сечение выработки – прямоугольное. Анкеры длиной 2,4 м устанавливались в забое выработки под подхват из СВП-22 длиной 4,0 м. Выработка пройдена с нижней подрывкой, максимальная глубина которой составляла 1,5 м. В течение всего периода наблюдений замерные станции находились вне зоны влияния очистного забоя.



**Рис. 1.** Схема установки глубинных реперов на замерной станции

В кровле и боках выработки, в пределах пикетов 62, 72 и 89 было заложено 6 комплексных замерных станций, оборудованных глубинными и контурными реперами (рис. 1). Замерные станции оборудовались непосредственно в забое выработки.

Каждая станция представляла собой 3 скважины глубиной до 7 м, пробуренные в кровлю и бока выработки, оборудованные глубинными реперами, и один контурный репер в почву выработки. Расстояние между центрами глубинных реперов в скважине составляло от 0,3 до 0,5 м. Измерения проводились с помощью рулетки конструкции ВНИМИ (погрешность измерения рулеткой  $\pm 0,5$  мм). Производство замеров на станциях производилось в соответствии с методикой ВНИМИ [8].

Для изучения процесса развития деформаций во вмещающем выработку массиве, строились графики смещений глубинных реперов в скважинах, пробуренных в кровле и боках, в направлении от контура выработки вглубь массива, а также графики изменения коэффициента разрыхления на участках между реперами (рис. 2-9). Поскольку характер смещений реперов на замерных станциях существенно не отличается, а объем статьи ограничен, приведем наиболее характерные графики.

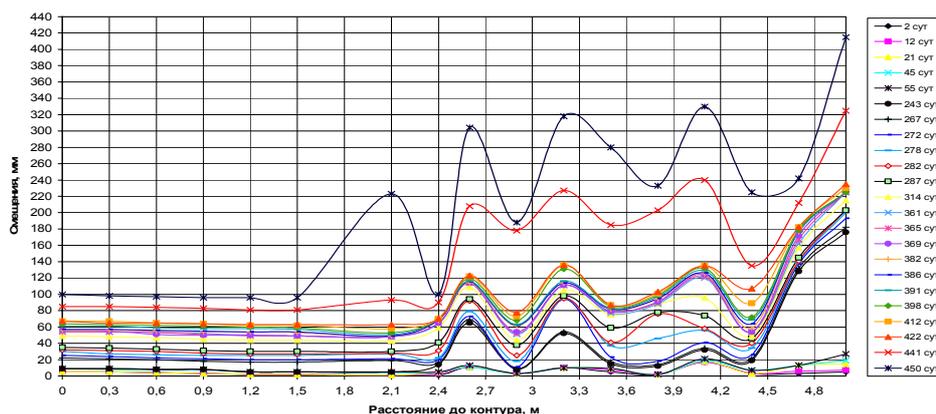


Рис.2. Графики смещений глубинных реперов в кровле выработки на замерной станции №3

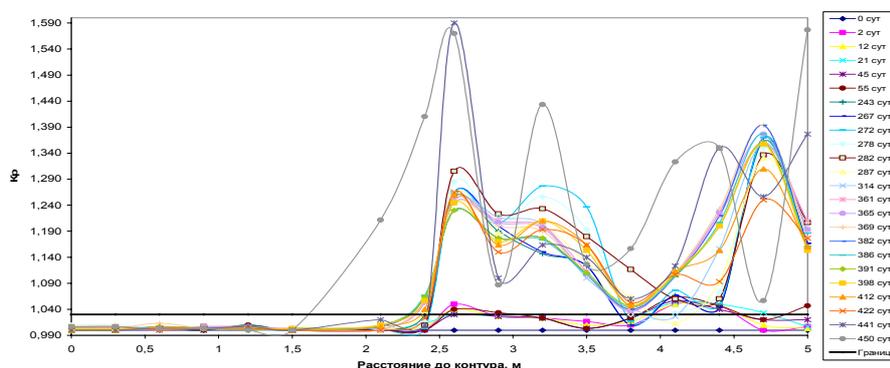


Рис.3. Графики изменения коэффициента разрыхления пород на участках между глубинными реперами в кровле выработки на замерной станции №3

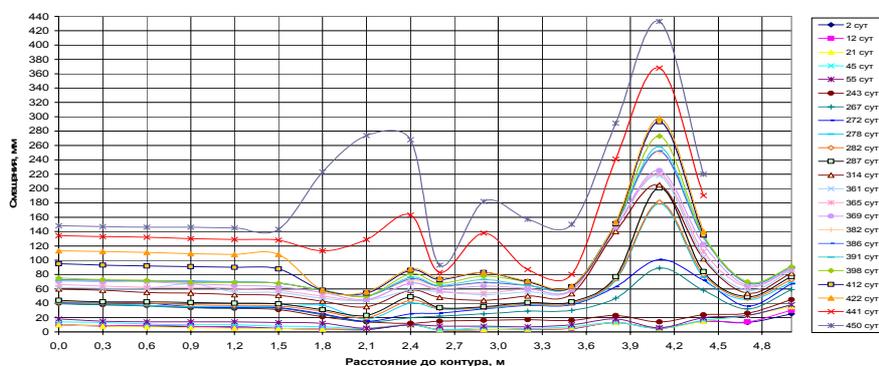


Рис.4. Графики смещений глубинных реперов в кровле выработки на замерной станции №4

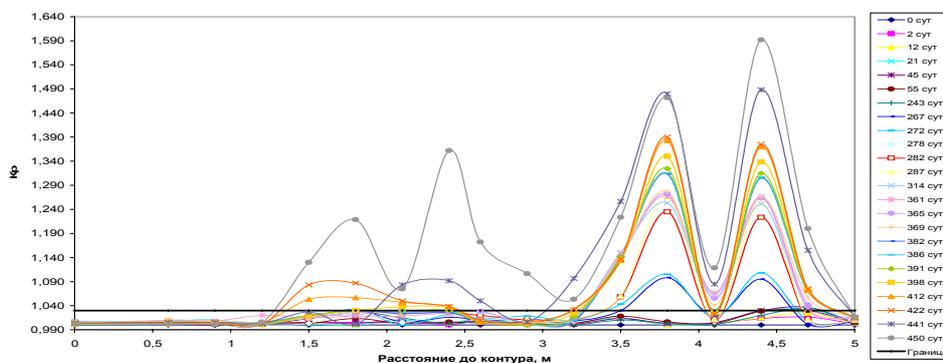


Рис.5. Графики изменения коэффициента разрыхления пород на участках между глубинными реперами в кровле выработки на замерной станции №4

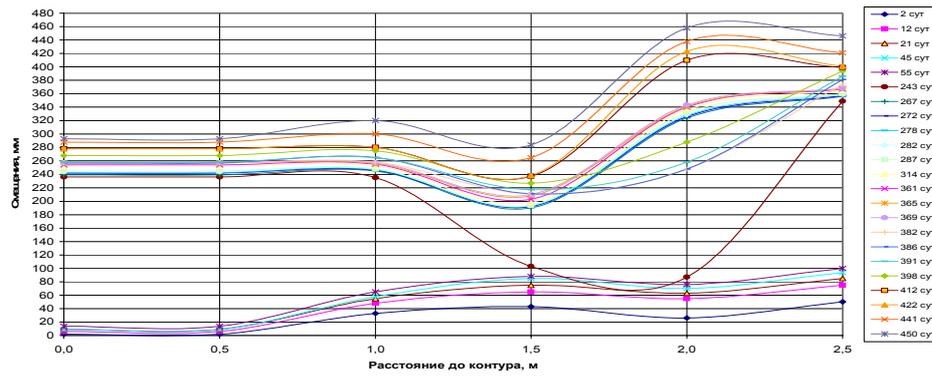


Рис.6. Графики смещений реперов в боках выработки на замерной станции № 3

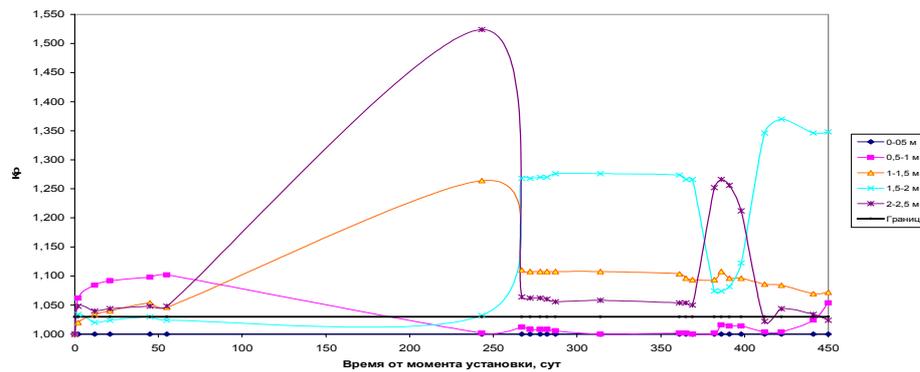


Рис.7. Графики изменения коэффициента разрыхления пород на участках между глубинными реперами в боках выработки на замерной станции №3 во времени

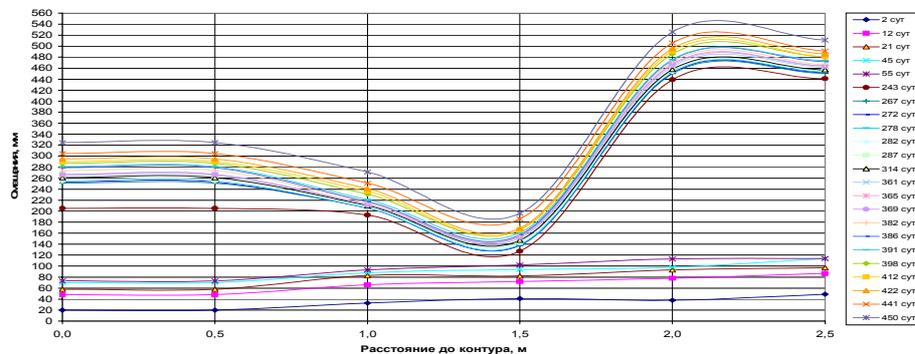


Рис.8. Графики смещений реперов в боках выработки на замерной станции № 4

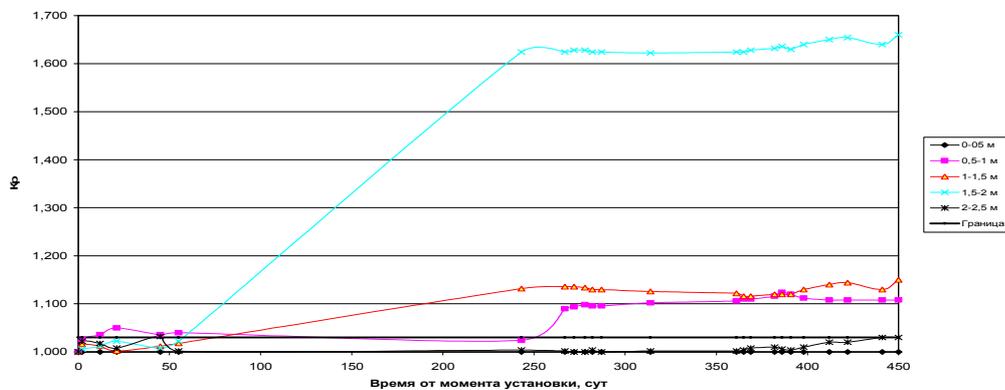


Рис 9. Графики изменения коэффициента разрыхления пород на участках между глубинными реперами в боках выработки на замерной станции №4 во времени

Породы, на участке скважины между глубинными реперами считались разрушенными, если величина относительных деформаций (коэффициента разрыхления пород) превышала предельное значение. Согласно исследованиям, проведенным в МГИ под руководством И.Л. Черняка [9] предельные относительные деформации для глинистого сланца составляют  $3 \times 10^{-2}$ , а для песчаного сланца  $2 \times 10^{-2}$

Как видно из данных представленных на рис.2,3,6,7 уже на вторые сутки наблюдений, разрушения пород в боках выработки произошли на расстоянии 0,5-1,0 м и 2,0-2,5 м от контура. В кровле выработки, в это же время произошло разрушение пород на участках скважины, удаленных на 2,6-2,9 м и 4,1-4,7 м. На сорок пятые сутки наблюдений, наибольшие значения коэффициентов разрыхления зафиксированы по всей длине боковой скважины (от 0,5 до 2,5 м). В вертикальной скважине, за этот период, значительные деформации происходят на участке скважины, удаленной от контура на 3,5-5,0 м. К пятидесятым суткам наблюдений разрушения пород в кровле продолжают на этих же участках и распространяются вглубь массива на участки 2,4-2,6 м и 4,7-5,0 м. В дальнейшем, происходит распространение деформаций вглубь массива в боках выработки, которое сопровождается разрушением пород кровли на участке вертикальной скважины 1,5-2,4 м, в направлении к контуру выработки. На 450 сутки наблюдений разрушением охвачены породы, удаленные на 1,5-5,0 м от контура в кровлю и на 0,8 – 2,5 м в бока.

Анализируя графики, представленные на рис.4,5,8,9 можно заметить, что на вторые сутки наблюдений разрушения пород в боках выработки произошли на удалении 0,5-1,0 м и 2,0-2,5 м от контура. В этот же период, в кровле выработки, разрушения имели место на участках 2,4-2,6 м; 3,5-4,4 м и 4,7-5,0 м. Как показали дальнейшие наблюдения, продолжающиеся разрушения пород в боках на участках 0,5-1,0 м и 1,5-2,0 м сопровождались запредельным деформированием пород кровли на участках 2,4-2,6 м и 3,5-5,0 м. На 55 сутки наблюдений, породы на участке боковой скважины 0,5-2,0 м от контура были разрушены. Это привело к разрушению пород в кровле на удалении 1,8-2,1 м от контура и дальнейшему разрыхлению пород на уже разрушенных участках. Продолжающиеся интенсивные разрушения пород в боках выработки на удалении 0,5-1,0 м и 1,5-2,0 м к 450 суткам наблюдений привели к распространению запредельных деформаций в кровле на удалении 1,5-2,6 м и 3,5-5,0 м от контура.

За период наблюдений 361-589 суток смещения контура на замерных станциях составили: от 67 до 150 мм со стороны кровли и 95 – 325 мм – со стороны боков выработки. Интенсивные смещения пород со стороны боков выработки приводили к разрушениям стоек крепи и пластическим деформациям угольного массива в сторону подхватов.

### **Выводы**

В результате выполненных исследований [5,6,7] были установлены следующие особенности деформирования вмещающих пород. До момента начала ведения очистных работ, деформации контура выработок не значительные. Максимальные смещения кровли составляют до 180 мм, а боков – до 365 мм. В целом, состояние выработок хорошее. Деформирование пород в глубине массива носит следующий характер. До момента включения анкеров в работу (2-8 суток) разрушения в кровле происходят от контура выработки на глубину до 0,5 м. Затем, разрушаются породы в глубине массива, за пределами заанкерванной области. Заанкерванная область пород практически не разрушается, при этом, наибольшие смещения породного обнажения в кровле выработки наблюдаются посередине пролета (происходит плавный прогиб), а вблизи стенок – образуются пластические шарниры. В боках выработки разрушения пласта и пород происходят на глубину до 2,5 м и проявляются в виде выдавливания верхней пачки угля и пород непосредственной почвы пласта. Очевидно, это связано с наличием в боках выработки слабых вмещающих пород. При этом деформирование носит пластический характер.

### **Библиографический список**

1. **Указания** по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. – Изд. 4-е, дополненное. Л., 1986. – 222 с.
2. **КД 12.01.01.201-98**. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Методические указания, 1998. – 149 с.
3. **КД 12.01.01.501-98**. Система обеспечения надежного и безопасного функционирования горных выработок с анкерным креплением. Общие технические требования.
4. **СОУ-П 10.1.05411357.010**. Система обеспечения надежного и безопасного функционирования горных выработок с анкерным креплением. Общие технические требования, 2007. – 62 с.
5. **Плетнев В.А., Касьян Н.Н., Петренко Ю.А., Новиков А.О., Сахно И.Г.** Результаты внедрения анкерных систем для поддержания горных выработок на шахте «Добропольская»// Геотехнологии и управление производством XXI века. Монография в 2-х томах. ДонНТУ, ДЦНПГО, 2006.- с.39-44.
6. **Новиков А.О., Сахно И.Г.** Исследование особенностей деформирования породного массива, вмещающего выработку, закрепленную анкерной крепью// Известия Донецкого горного института. – Донецк: ДонНТУ, 2007. – №1. – С. 82-88.
7. **Новиков А.О., Гладкий С.Ю., Шестопалов И.Н.** Об особенностях деформирования породного массива, вмещающего подготовительные выработки с анкерным креплением //Известия Донецкого горного института. – Донецк: ДонНТУ, 2008. – №1. – С.120-129.
8. **Методические указания** по исследованию горного давления на угольных и сланцевых шахтах. – Л.: ВНИМИ. – 1973. – 102с.
9. **Черняк И.Л.** Повышение устойчивости подготовительных выработок. – М.: Недра, 1993. – 256с.