

## **ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОТКАТОЧНЫХ ШТРЕКОВ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА ДОНБАССА**

Розглянуто результати інструментальних та теоретичних досліджень стійкості відкаточних штреків на шахтах Центрального району Донбасу.

### **THE SUBSTANTIATION OF GEOMECHANICAL PARAMETERS FOR MINE WORKING IN CENTRAL REGION OF DONBASS CONDITIONS**

The results instrument and analytical investigations of stability of mine workings on mines of central region of Donbass are reviewed.

Добыча полезных ископаемых подземным способом сопровождается резким ухудшением горно-геологической обстановки, что связано с увеличением глубины разработки, отработкой ранее законсервированных запасов, характеризующихся сложным геологическим строением, длительным сроком эксплуатации капитальных выработок большинства шахт, а также со снижением затрат на профилактический ремонт выработок по причинам экономического характера. Поэтому, в особо сложных горно-геологических условиях крутых пластов, для безопасной их отработки перспективно применение селективного дифференцированного подхода к креплению и поддержанию выработок с использованием грузонесущей способности массива горных.

Откаточные штреки в процессе эксплуатации подвергаются влиянию очистных работ и разрушаются под воздействием горного давления, значительно превышающем несущую способность крепи. К основным эксплуатационным характеристикам откаточных штреков относятся параметры способов крепления и охраны на различных стадиях развития горных работ. Это форма и размеры поперечного сечения; несущая способность, податливость и плотность установки крепи, особенности специальной крепи. Критериями их эффективности служит устойчивость выработки и затраты на ее проведение и поддержание.

Решающее значение для устойчивости штреков имеет напряженно-деформированное состояние массива горных пород, которое обусловлено глубиной, тектонической нарушенностью массива, современными геодинамическими процессами и совокупностью конструктивных параметров горной выработки. Для оценки напряженно-деформированного состояния большой практический смысл имеют эмпириоаналитические методы расчета. Поэтому за основу приняты численные методы расчёта, в которых используются количественные данные определения физико-механических свойств пород, измерений напряжений в натуральных условиях, многочисленные измерения смещений подготовительных выработок и результаты визуальных наблюдений за формами потери устойчивости породных обнажений.

Проведено измерение смещений контура откаточных штреков на шахтах ПО «Артёмуголь» и ПО «Дзержинскуголь» (Таблица 1.). Исследования пока-

Таблица 1 – Смещения контура откаточных штреков в Центральном районе Донбасса, м

Плост	Горизонт, м	№ станции	До лавы 50 м						На уровне забоя						100 м за лавой											
			Лежачий бок		Висячий бок		Кровля		Почва		⊥ напластованию		напластованию		Лежачий бок		Висячий бок		Кровля		Почва		⊥ напластованию		напластованию	
к <sup>6</sup>	970	1	0,05	0,05	0,10	0,10	0,10	0,15	0,10	0,75	0,55	0,70	0,10	1,20	0,80	1,05	0,65	1,65	0,20	1,80	1,00	1,80	1,00	1,80	1,00	
	970	2	0,05	0,05	0,10	0,10	0,05	0,10	0,10	0,35	0,55	0,95	0,30	1,30	0,75	0,45	0,55	1,10	0,60	1,30	0,80	1,30	0,80	1,30	0,80	
к <sup>6</sup>	970	1	0,05	0,10	0,05	0,10	0,05	0,15	0,10	0,15	1,15	0,70	0,20	1,50	0,45	0,15	1,25	0,75	0,30	1,60	0,45	1,60	0,45	1,60	0,45	
	970	2	0,00	0,05	0,00	0,10	0,05	0,10	0,05	0,20	0,25	0,30	0,30	0,40	0,30	0,35	0,50	0,55	0,50	1,20	0,90	1,20	0,90	1,20	0,90	
l <sub>5</sub>	970	1	0,00	0,00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,20	0,20	0,30	0,00	0,25	0,25	0,20	0,20	0,30	0,05	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	
	970	2	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,30	0,00	0,20	0,20	0,10	0,15	0,30	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	
	970	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,25	0,60	0,05	0,60	0,55	0,80	0,40	1,35	0,10	0,9	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	
l <sub>8</sub>	970	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,35	1,20	0,20	0,90	1,20	0,60	0,50	1,15	0,35	1,35	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	
	970	2	0,05	0,05	0,10	0,10	0,10	0,10	0,40	0,40	0,20	0,10	0,10	0,45	0,65	0,70	0,25	1,00	0,10	0,45	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	
l <sub>8</sub> <sup>2</sup> бис	970	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,45	0,75	0,10	0,90	0,60	0,35	0,75	0,90	0,20	0,90	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	
	970	2	0,05	0,00	0,10	0,00	0,05	0,05	0,60	0,60	0,20	0,70	0,05	0,40	0,65	0,80	0,45	0,60	0,05	0,45	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	
m <sub>2</sub>	640	1	0,05	0,00	0,05	0,10	0,10	0,15	0,15	0,15	0,25	1,00	0,20	1,60	1,05	0,20	0,45	1,20	0,25	1,50	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	
	970	2	0,05	0,05	0,10	0,05	0,10	0,10	0,20	0,20	0,25	0,20	0,15	0,30	0,30	0,45	0,55	1,25	0,20	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	
m <sub>3</sub>	970	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,05	0,05	0,05	0,10	0,00	0,10	0,10	0,05	0,05	0,10	0,05	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	
	970	2	0,00	0,05	0,10	0,00	0,15	0,10	0,05	0,05	0,10	0,15	0,00	0,20	0,15	0,55	0,75	1,20	0,10	1,25	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	
	970	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15	0,25	0,45	0,05	0,60	0,20	0,30	0,55	0,85	0,05	1,15	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	
m <sub>5</sub>	970	1	0,00	0,05	0,00	0,00	0,10	0,05	0,05	0,15	0,15	0,60	0,10	1,20	0,70	0,25	0,35	0,95	0,10	1,00	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	
	970	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,25	0,55	0,05	0,70	0,20	0,15	0,35	1,00	0,05	1,30	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	
m <sub>5</sub> <sup>1</sup>	970	1	0,00	0,05	0,10	0,00	0,10	0,05	0,10	0,10	0,30	0,55	0,10	0,70	0,60	0,15	0,45	0,65	0,15	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	
	970	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,35	0,25	0,15	0,70	0,35	0,35	0,55	0,75	0,25	1,40	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	
l <sub>3</sub>	970	1	0,05	0,10	0,10	0,00	0,20	0,10	0,15	0,40	0,20	0,10	0,10	0,60	0,20	0,50	0,80	1,40	0,10	1,7	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	
l <sub>4</sub> <sup>н</sup>	970	1	0,00	0,05	0,10	0,05	0,15	0,05	0,20	0,35	0,40	0,15	0,60	0,20	0,20	0,55	0,65	1,30	0,50	1,60	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	

зывают, что преобладающие смещения ориентированы по нормали к напластованию, а это свидетельствует о неравномерном, асимметричном нагружении на крепь. Показатель асимметричности нагружения находится в пределах 1,12-2,5. Следовательно, необходимо применять асимметричные крепи, параметры которых соответствуют направлению и интенсивности действующих нагрузок в системе крепь-массив, обусловленных напряженно-деформированным состоянием породного массива. Следует отметить, что конструкция асимметричных крепей несовершенна, а методы расчетов недостаточно проработаны.

Откаточный штрек представляет собой нагруженную динамическую систему, которая постоянно изменяется за счет технологических процессов сооружения, поддержания и эксплуатации, тесно связанных между собой. Крепь в системе крепь-массив подвержена статическим нагрузкам от горного давления, забутовки, а также динамическим от влияния буро-взрывных работ и транспорта. Режим взаимовлияющей деформации, в котором работает подавляющее количество крепей, предполагает совместную работу крепи и массива, при которой нагрузка на крепь определяется ее деформацией в процессе взаимодействия с массивом, а геомеханическими характеристиками крепи является несущая способность и податливость.

Расчёт параметров крепи рассмотрен в совокупности двух взаимосвязанных задач: расчета нагрузок на крепь с учетом геомеханических, технологических и конструктивных особенностей взаимодействия крепи с массивом; статического и прочностного расчета элементов крепи по найденным в первой задаче контактными нагрузкам.

Для откаточных штреков, пройденных в слабых вмещающих породах на глубоких горизонтах шахт Центрального района Донбасса, с целью повышения их устойчивости и обоснования рациональных параметров, выполнен численный анализ напряженно-деформированного состояния углепородного массива в анизотропной среде, моделирующей массив пород методом конечных элементов (МКЭ) при помощи системы автоматизированного ввода-вывода геомеханической информации [1,2]. Использована стандартная процедура МКЭ, реализующая алгоритм упруго-пластического деформирования среды с разупрочнением за пределом прочности. За критерий прочности принят наиболее экспериментально подтвержденный для твердых материалов критерий Кулона. Упруго-пластическое решение достигается итерационным процессом повторения упругих решений с сохранением исходной матрицы жёсткости системы.

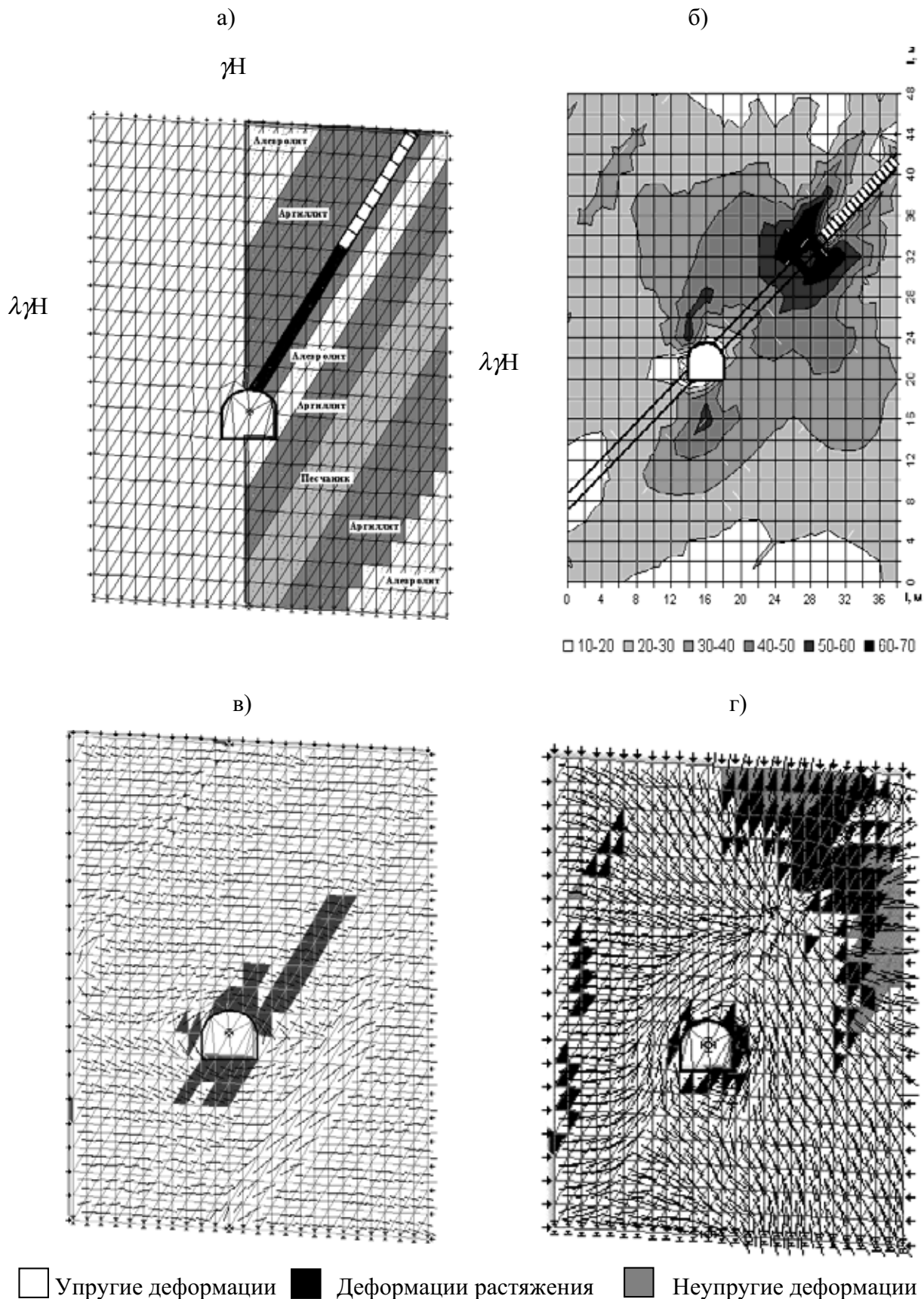
В качестве исходных данных в расчётную схему занесены: мощность пластов и физико-механические свойства пород; геометрические размеры выработок (учтены при построении расчётной схемы); отпоры крепей и средств усиления (учтены приложением соответствующих дополнительных нагрузок в необходимом направлении); параметры влияния горных работ на смежных участках (учтены предварительными расчётами НДС и использованы в постановке граничных условий); тектонические нарушения и ослабления пород (применены при определении зональности нарушений и вводе пониженных прочностных и деформационных свойств). Массив рассмотрен как геометрически ограничен-

ное тело. Изучаемая область массива невелика и расположена в его глубине. Эта область ограничена изнутри контуром сечения выработки произвольной формы. Площадь поперечного сечения выработки в проходке принята  $13,4 \text{ м}^2$ . Внешняя граница относится от контура на такое расстояние, на котором отсутствует влияние выработки на исходное напряженное состояние. Исходные заданные силы, действующие на область: тектонические и гравитационные без влияния очистных работ и при их влиянии. Гравитационные силы обусловлены весом вышележащих пород и равны 21-22 МПа. Установлено, что в Центральном районе Донбасса максимальные напряжения имеют горизонтальную ориентировку и превышают вертикальные в 2,4-3,5 раза. Распределенная нагрузка на боковых границах исследуемой области определена из горизонтальной составляющей тензора напряжений и составляет 60 МПа для песчаников и 55-54 МПа для сланцев и угля. В узлах на контуре породного обнажения приложена нормальная распределенная нагрузка, моделирующая отпор стандартной крепи (рис. 1а). Физико-механические свойства приняты на основе усреднённых геологоразведочных данных. Прочностные свойства обладают значительной анизотропией и изменяются по площади и по глубине. Поэтому для расчетов приняты их средние значения, с учётом исходной трещиноватости и обводнённости. После предварительных расчётов, выполнено сопоставление расчётных и экспериментальных данных.

Поскольку любая реальная схема имеет ограниченную точность, то всегда может возникнуть необходимость её корректировки, которая проводится по результатам геофизического контроля. Численный анализ методом конечных элементов (МКЭ) основан на представлении исследуемой области в виде совокупности плоских или пространственных элементов типа стержневых или рамных конструкций. Соблюдается физическая трактовка решаемых задач и принципиальная возможность определения или задания свойств каждого элемента в отдельности. Методом электрометрического зондирования уточнена стадия деформирования горного массива и внесены необходимые корректировки. Методом виброакустического контроля оценена реальная нарушенность крепи вдоль откаточных штреков [3,4].

Численный анализ проведен для характерных сечений вне зоны влияния и в зоне влияния очистных работ по основным параметрам, влияющим на устойчивость выработки. Определены зоны наибольшего и наименьшего сжатия (концентрации  $\sigma_1$ , и зон разрывных нарушений, рис. 1б.), распространённость и геометрия зон разупрочнения, (неупругих деформаций, рис. 1в.), направление векторов главных сжимающих и касательных напряжений.

Например, для пласта “Новый” горизонта 960 м шахты “Комсомолец» определены зоны разрушения и зоны пластических деформаций в окрестности выработки, смещения контура выработки для различных форм поперечного сечения выработки. Произведён выбор новой формы выработки с учетом деформирования массива. Для нового контура выполнена корректировка с учётом оптимизации затрат на проведение, поддержание, транспорт и проветривание. Расчеты произведены по данной схеме до тех пор, пока новые изменения



а) – расчётная схема; б) – эпюры главных напряжений, МПа; в) – состояние массива в зоне опорного давления с наложением векторов главенствующей трещиноватости; г) – после прохода лавы

Рис. 1 – Исследование напряжённо-деформированного состояния породного массива методом конечных элементов

не привели к значительным уменьшениям деформаций и снижению затрат (рис. 1г).

Анализ напряжённо-деформированного состояния показал, что зона неупругих деформаций несколько вытянута по напластованию. Это свидетельствует о преобладании нагрузки в перпендикулярном напластованию направлении. Интенсивные смещения наблюдаются со стороны висячего бока пласта. Площадь зоны неупругих деформаций составляет  $39,2 \text{ м}^2$ . По направлению и интенсивности смещений разработана новая конфигурация обнажения. Направления смещений со стороны висячего бока пласта представляют особый интерес, так как учитываются при выборе расположения замков крепи и их наклона. Площадь зоны неупругих деформаций уменьшилась на 44 % и составила  $26,3 \text{ м}^2$ . Простирание зоны неупругих деформаций для нового очертания обнажения со стороны висячего бока пласта уменьшилось с 2,5 до 1,5 м, а в кровле по пласту – с 4,3 до 3 м. Вертикальные смещения имеют тенденцию увеличения к верхней части выработки и достигают максимальных значений по центру сечения. Эти смещения определяются весом вышележащих пород. В то же время горизонтальные смещения более интенсивны и преобладают со стороны висячего бока пласта. Смещения по горизонтальной оси, очевидно, определяются напластованием и геологической характеристикой массива. При изменении конфигурации обнажения смещения уменьшаются по всему контуру выработки на 10-25 %. Равнодействующая горизонтальных и вертикальных смещений для каждой точки контура показывает направление рационального изменения контура. Ориентация техногенных трещин устанавливается вдоль главных напряжений параллельно обнаженной поверхности пласта [5]. Эти трещины способствуют развитию деформаций в сторону открытой полости.

Можно отметить, что изменение очертания контура выработки влечет за собой эффект сглаживания напряжений по всем направлениям. Неблагоприятно для массива скачкообразное изменение напряжений в виде волны, которое отчетливо просматривается на сечении, перпендикулярном напластованию. Горные породы, переходя в пластическое состояние, разгружают массив от напряжений. Это влечет за собой развитие зоны неупругих деформаций. Поэтому при арочной форме выработки происходит волнообразное, резкое снижение напряжений. При эллипсообразном своде обнажения напряжения более сглажены и горный массив в большей мере сам воспринимает энергию, освобождаемую при проведении горной выработки.

Дальнейшее изменение конфигурации выработки в данном случае нецелесообразно. Произошло качественное изменение работы горного массива.

По результатам исследований сделаны следующие выводы:

1. Нагрузка на крепь выработок крутых угольных пластов неравномерна как по контуру крепи, так и по ее простиранию. Она определяется прочностью и деформационными свойствами вмещающих пород, газодинамическим состоянием угольного пласта и направлением вектора главных напряжений, формой, размерами выработки, степенью забутовки закрепного пространства, влиянием сопряженных выработок и очистных работ.

2. Преимущественное заклинивание замков податливости металлической крепи (арочной или кольцевой) при неравномерной ее нагруженности приводит к неуправляемому разрушению крепи без формирования в массиве расчетных породных зон опорного давления, обеспечивающих длительное поддержание выработок.

3. Асимметричная форма выработки может быть элементом управления горным давлением (аналогично асимметрия податливости крепи или ее забутовки), обеспечивающем на основе управляемого разрушения, в частности отрывных явлений, смещение в глубину и формирование асимметричной относительно контура выработки зоны опорного давления в слоистом массиве, снижающей влияние очистных работ на устойчивость за счет вовлечения массива в совместную работу с крепью.

4. Рациональной формой выработки для крутых пластов является асимметричная с эллипсообразным сводом, ось симметрии которой лежит под углом  $70-90^\circ$  к восстанию пласта, а величина асимметричности обратно пропорциональна прочности угольного пласта, вмещающих пород почвы и кровли.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слащёва Е.А., Яланский Алекс. А. Автоматизированная статистическая обработка промежуточной и выходной информации программы «Геомеханика» на основе персональной ЭВМ // Геотехническая механика. – Днепропетровск, 2002. - № 40. –С. 102-105.

2. Слащёва Е.А. Разработка экспресс-методики прогноза устойчивости геоматериалов по изменению их электропроводящих свойств под воздействием гидрогеологических факторов // Геотехническая механика.- Днепропетровск, 2003.- №42.- С. 143-148.

3. Яланский А.А., Паламарчук Т.А., Слащёв И.Н. Акустический экспресс-контроль состояния породного массива и устойчивости горных выработок // Геотехническая механика. – Днепропетровск, 2000. -№22. –С.141-143.

4. Яланский А.А., Паламарчук Т.А., Слащев И.Н., Яровая Т.И. Прогноз проявлений горного давления вблизи выработок методом математического моделирования и геофизической диагностики // Геотехническая механика. – Днепропетровск, 2000.-№22. –С. 141-143.

5. Линьков А.М., Петухов И.М., Сидоров В.С. О росте трещин в подготовительной стадии и на фронте выброса // Труды ВНИМИ.- Л., 1997.- №106.- С.46-55.