

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМИРОВАНИЕ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ «НЕСТОР»**

Наведено результати аналітичних та експериментальних досліджень з оцінки впливу гірничих робіт на напружено-деформований стан покрівлі в умовах шахти «Нестор»

### **ASSESSMENT OF MINING ON THE FORMATION OF FIELD STRESS AND DEFORMATION OF WORKING IN THE MINES "NESTOR"**

The results of analytical and experimental studies on the impact of mining on the stress-strain state of the roof in the mine "Nestor"

Развивающимся горнодобывающим предприятиям, которые начинают осваивать угольные месторождения на ограниченных площадях, сложно обеспечить конкурентоспособность своей продукции. Это связано со значительными начальными капиталовложениями на создание инфраструктуры шахты, вскрытие и подготовку шахтного поля, подготовку новых линий очистных забоев. В этих условиях вопросы повышения производительности труда и поиска путей снижения себестоимости угля стоят наиболее остро, так как добыча обычно производится с применением большого количества ручного труда и материальных затрат. Одним из путей повышения эффективности разработки является снижение себестоимости добываемого угля, основную часть которой составляют затраты на управление горным давлением в очистных забоях.

Одним из интенсивно развивающихся молодых предприятий, является шахта «Нестор», запасы которой расположены на территории Антрацитовского района Луганской области и включают свиту угольных пластов антрацита  $h_3$ ,  $h_7$  и  $h_8$ . Отработка шахтного поля ведется ниже зоны выветривания пород на пласте  $h_7$ , вынимаемой мощностью 1,1 м. Ведение горных работ вблизи зоны выветривания на небольших глубинах осложнено снижением прочности и устойчивости вмещающих пород, обводненностью, склонностью пород к обрушению. Очистная выемка угля сопровождается локальными вывалами горных пород и проявлениями осадок кровли, зависающей в выработанном пространстве. Это приводит к повышенным нагрузкам на крепи, деформациям стоек и обрушениям пород. Для данных условий разработки исследования по влиянию горных работ на формирование напряженно-деформированного состояния (НДС) породного массива и характера его поведения после выемки угля не проводились, что не позволяет выполнить научное обоснование эффективных и производительных способов добычи угля и средств механизации горных работ. Поэтому оценка влияния способов управления горным давлением на формирование поля напряжений в горно-геологических условиях разработки шахты «Нестор» является актуальной и востребованной на практике задачей.

Цель работы состоит в установлении закономерностей изменения поля напряжений под влиянием горных работ и оценке способности пород кровли об-

разовывать долговременные устойчивые обнажения при изменении форм очистных пространств и технологических схем ведения горных работ.

Для достижения цели определен ряд задач исследований:

1. Изучить структурные особенности массива и оценить влияние подземных работ на состояние подработанных пород и горных выработок шахты «Нестор».

2. Выполнить математическое моделирование напряженно-деформированного состояния породного массива и исследовать процесс формирования поля напряжений над очистным пространством в процессе отработки угольных пластов.

При решении поставленных задач использован комплексный метод исследований, включающий обобщение и анализ отечественного и зарубежного опыта управления состоянием массива при подземной разработке угольных месторождений, натурные исследования структурных особенностей и фактического состояния подработанного массива, аналитические расчеты полей напряжений и сравнительный анализ полученных результатов.

Как показывает отечественный и зарубежный опыт, отработка угольных пластов под зоной выветривания осуществляется преимущественно камерными системами разработки, имеющими неоправданно высокую фактическую себестоимость добываемого угля при наличии ряда резервных факторов существенного снижения общешахтных затрат. С целью повышения эффективности и безопасности горных работ инженерно-техническим персоналом шахты «Нестор» совместно с учеными ИГТМ НАН Украины в течение ряда лет проводится комплекс шахтных исследований, направленных на определение деформационных свойств горных пород и проявлений горного давления в очистных и подготовительных выработках.

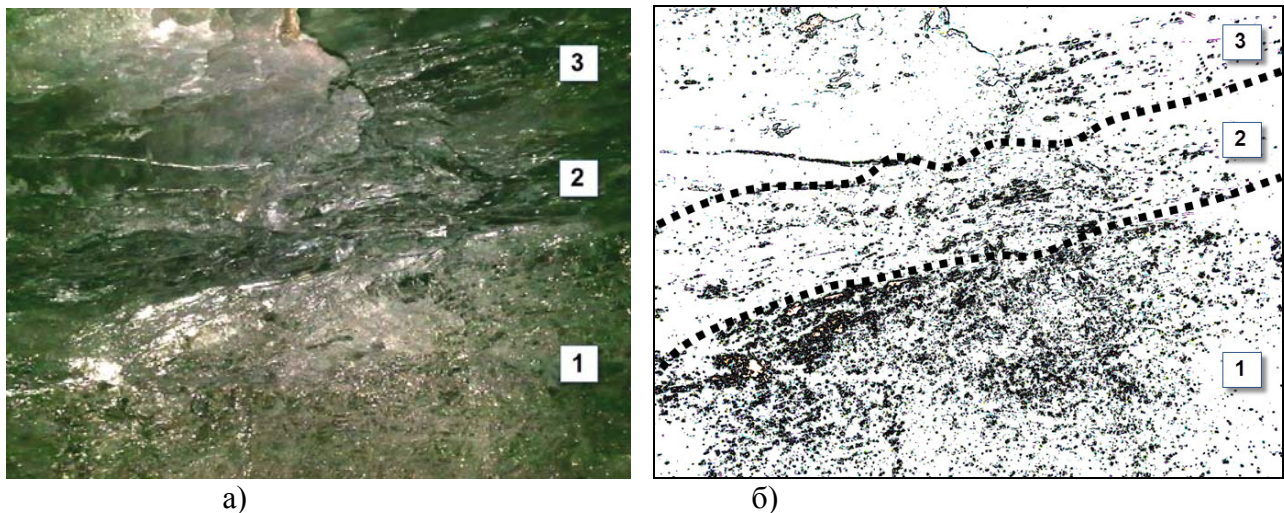
Как известно, обоснование рациональных способов и параметров процесса управления горным давлением обеспечивают полноту извлечения угля и безопасность горных работ при минимальных затратах на погашение выработанного пространства. Под рациональными понимаются способы, при обосновании которых, вместе с традиционными факторами, учитываются ранее неизученные условия и геомеханические процессы. К этим факторам для условий шахты «Нестор», прежде всего, следует отнести: различный угол залегания пластов, что, при определенных условиях, может изменять устойчивость обнаженной кровли и позволяет увеличивать или уменьшать ее предельный пролет, определять время до ее обрушения и обосновать отработку запасов без оставления угольных целиков; особенности распределения напряжений в прилегающем массиве горных пород, когда при больших значениях сдвигающих сил массив кровли расслаивается, что снижает устойчивость кровли, изменяет ее предельный пролет и активизирует процессы обрушения; отсутствие для данных условий обоснованных геомеханических моделей расчета параметров устойчивости подработанного массива, позволяющих объективно прогнозировать геомеханическую обстановку при отработке угольных пластов и обоснованно принимать решения по применению способов управления горным давлением.

Горно-геологические условия разработки представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Литология и свойства углевмещающих пород

Мощность слоя, м	Литологическая колонка	Пред. проч. на сжатие $\sigma_{сж}$ , МПа	Описание типов пород	Категория по устойчивости, обрушаемости
7,6		68,1	1. Сланец песчаный, неравнопрочный (интенсивная вертикальная трещиноватость)	A <sub>2</sub>
1,3-7,8		81,0-95,0	2. Песчаник разнопрочный (выраженная вертикальная трещиноватость с прожилками углистого сланца)	A <sub>2</sub>
5,6-10,0		65,0-87,0	3. Сланец песчаный (трещиноватость горизонтальная)	B <sub>4</sub>
0,5-1,7		50,8-58,7	4. Сланец песчано-глинистый	B <sub>3</sub>
0,08-0,18		18,0	5. Сланец углисто-глинистый	(B <sub>2</sub> )
0,79		20,0	6. Уголь марки А (антрацит)	
0,4-0,8		45,0-52,0	7. Сланец песчано-глинистый	П <sub>2</sub>
2,4-16,2		62,0-80,0	8. Сланец песчаный крепкий	П <sub>3</sub>

Исследование и анализ структурных особенностей массива показал, что угольный пласт хрупкий, имеет неровный ступенчатый излом. Расстояние между трещинами 0,125-0,2 м, угол падения – 75-80°. Углисто-глинистый сланец, залегающий непосредственно над угольным пластом, в отличие от угля имеет среднеслоистую волнистую структуру и слабый контакт с углем, рис. 1. Непосредственная кровля сложена песчаным сланцем с горизонтальными плотносжатыми трещинами, расстояние между которыми составляет 0,1-0,2 м.



а) – фото обнажения; б) – трассировка структуры пласта и пород кровли  
 1 – угольный пласт; 2 – прослой углистого сланца; 3 – кровля  
 Рис. 1 – Структурные особенности пласта угля и пород непосредственной кровли:

Основная кровля представлена мелко- и среднезернистым песчаником, который имеет ярко выраженные вертикальные трещины, заполненные кварцем

и глинистым материалом. Песчаный сланец в почве угольного пласта грубослоистый, в центральной части исследуемого участка замещается песчано-глинистым сланцем. Притоки воды составляют 1-3 м<sup>3</sup>/час, однако породы почвы не склонны к размоканию и сползанию.

В практике горного дела для принятия заблаговременных технических и технологических решений, чаще всего, требуется прогноз проявлений горного давления. В этой связи рационально использование шахтных измерений и математических (инженерно-расчетных) методов геомеханики подземных сооружений [1]. В этой связи особое значение приобретает использование геомеханических моделей для прогноза устойчивости подземных сооружений, которые учитывают максимальное количество влияющих факторов.

Анализ методов оценки напряженно-деформированного состояния породного массива показал, что наиболее широко применяемым методом является метод конечных элементов, который, как отмечают многие исследователи, отличается универсальностью и высокой точностью. Расчетная область разбивается на элементы треугольной формы, в которых механические свойства задаются на основе механических характеристик деформирования пород. Решение сложных нелинейных задач производится с использованием итерационных процедур метода начальных напряжений, что позволяет проводить математическое моделирование большинства физических процессов, происходящих в массиве горных пород. Для расчетов напряженно-деформированного состояния породного массива использован широко апробированный вычислительный комплекс ИГТМ НАН Украины «ГЕО-РС» [2].

Сохранение устойчивости обнажений и предотвращение обвалов и обрушений горных пород может быть обеспечено применением комбинаций средств поддержания кровли. Поскольку сплошное применение усиленных крепей в лаге экономически нецелесообразно, необходимо управлять горным давлением, величина которого зависит не только от исходного напряженного состояния и прочности пород, но и реакции крепи. При этом важное значение имеет научное обоснование их силовых параметров и схем установки с учетом специфики деформационных процессов в трещиноватом породном массиве.

При взаимодействии крепи с массивом выделяют два основных режима работы системы «крепь-массив»: режим заданной нагрузки и режим взаимовлияющей деформации. В первом случае нагрузка на крепь определяется массой отслоившихся от массива пород и не зависит от деформации породного контура и крепи, а ее геомеханической характеристикой является только несущая способность. Технические решения, основанные на расчете конструкций на заданные нагрузки с использованием, например, гипотезы свода обрушения, часто приводят к нарушениям нормальной эксплуатации горных выработок и значительным затратам на восстановление, особенно когда выработка расположена в неустойчивых породах [3]. Режим взаимовлияющей деформации предполагает совместную работу крепи и массива, при которой нагрузка на крепь определяется ее деформацией в процессе взаимодействия с массивом, а геоме-

ханическими характеристиками крепи является несущая способность и податливость.

Как показал опыт удержания кровли на шахте «Нестор» в первое время после отработки лавы в большинстве случаев обнажение сохраняет устойчивость достаточно длительное время, рис. 2. Это позволяет утверждать, что напряжения в массиве до формирования зон неупругих деформаций некоторое время сохраняется постоянным. Тогда воздействие отпора крепи можно считать дополнительным нагружением к массиву и крепи работают в режиме заданной нагрузки. При образовании зоны неупругих деформаций происходит увеличение смещений горных пород, что приводит к увеличению нагрузки на крепи, которая постоянно увеличивается с течением времени. При этом крепи работают в режиме взаимовлияющей деформации.

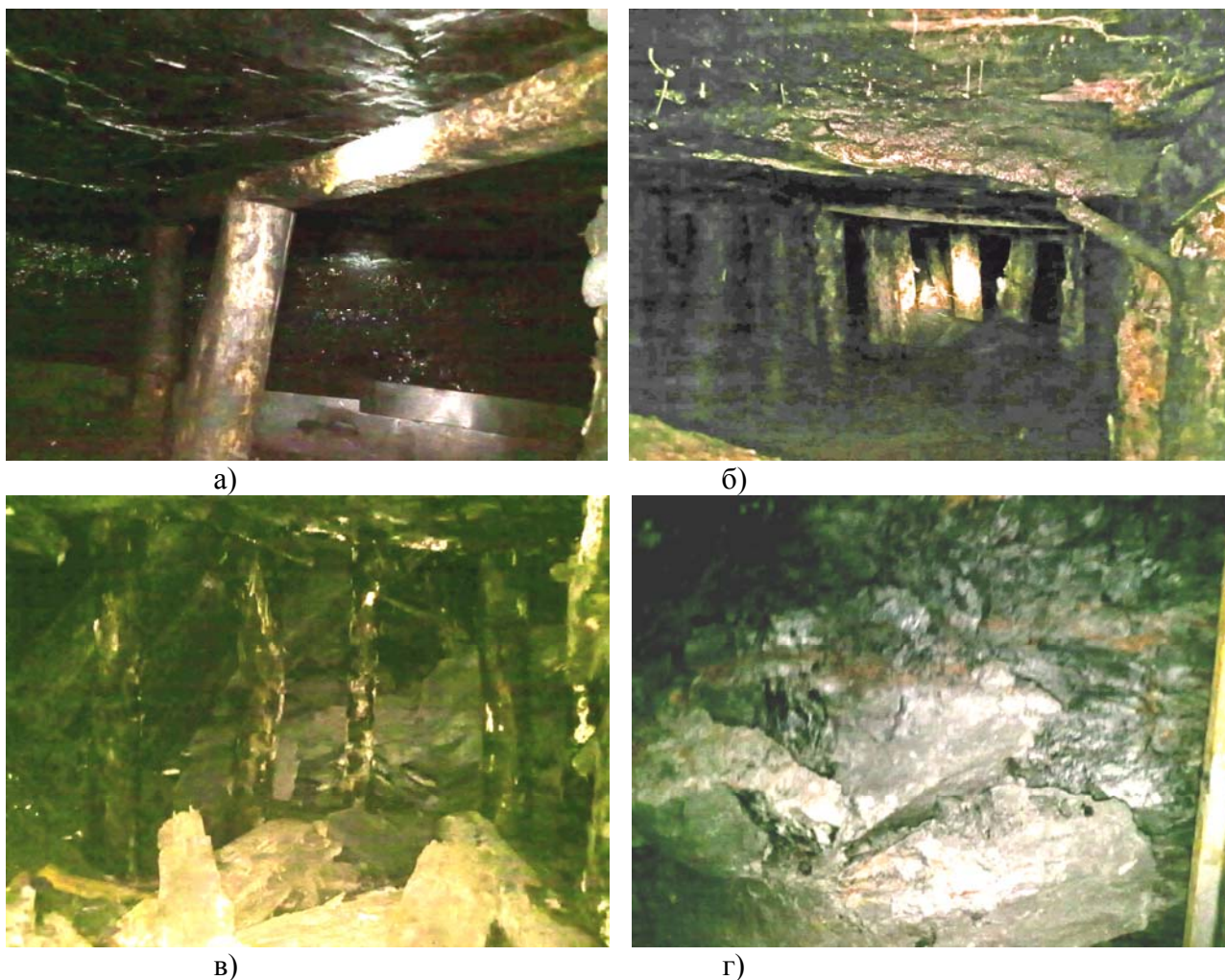


Рис. 2 – Состояние пород кровли после отработки угольного пласта  $h_7$ :

а – состояние непосредственной кровли в обрабатываемой лаве; б, в, г – характер обрушений пород в выработанном пространстве ранее отработанной лавы

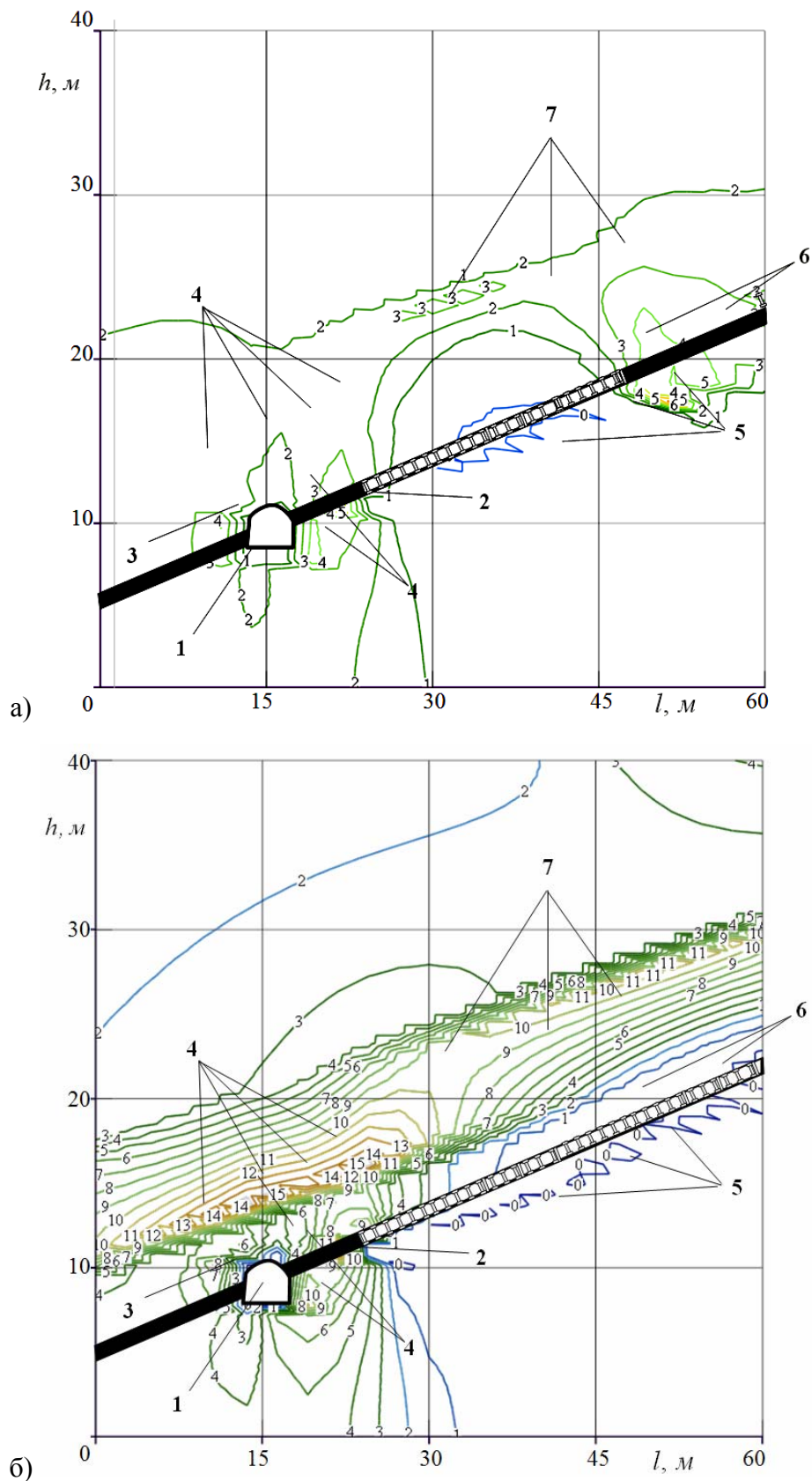
Вследствие разности прочностных и механических свойств горных пород происходят различные виды деформаций. При обнажении пород деформирование происходит в сторону образовавшейся полости послойно. Наблюдается прогиб с трещинообразованием и нарушением сплошности слоев кровли.

Для установления закономерностей изменения поля напряжений под влиянием горных работ рассмотрены ранее отработанная на вышележащем горизонте лава № 3 и находящаяся в отработке лава № 4. Вертикальная глубина от поверхности по контуру проведения вентиляционного штрека четвертой лавы составляет 100-110 м, откаточного – 150-160 м. На основе детального анализа геологических условий, физико-механических свойств пород и структурных особенностей массива разработана геомеханическая модель, соответствующая горнотехническим и горно-технологическим условиям отработки угольных пластов шахты «Нестор». Физические параметры и граничные условия задачи задавались с учетом коэффициента структурного ослабления отдельно для каждого элемента расчетной схемы.

Система разработки предусматривает удержание кровли на индивидуальной крепи и кострах. Состояние массива вокруг лавы в процессе отработки угля можно разделить на нескольких типичных, но качественно отличающихся друг от друга зон. В этих зонах условия горного давления можно считать условно похожими: перед очистным забоем вне зоны влияния лавы, в зоне опорного давления, на сопряжении очистного забоя с подготовительной выработкой и в выработанном пространстве за лавой. Деформирование кровли происходит последовательно с различной интенсивностью, свойственной каждой зоне. Поэтому НДС породного массива моделировалось в каждой зоне.

В процессе проведения выработок в массиве горных пород происходит изменение напряженного состояния. Вследствие чего, возникают зоны повышенных и пониженных напряжений, образуется вторичное поле напряжений, параметры которого зависят от геомеханических условий, технологии выемки угля и отпора крепи. Как показано на рис. 3, в прочных породах основной кровли наблюдается более высокий уровень максимальных главных напряжений. В песчанике основной кровли в зоне перегиба главные напряжения достигают максимальных значений – 12-15 МПа, тогда как в сланцах непосредственной кровли – не превышают 8 МПа. Области повышенных напряжений вокруг откаточного штрека имеют асимметричную конфигурацию и вытянуты в направлении, перпендикулярном пласту, на расстояние 3-5 м. Максимальные напряжения в кровле пласта возникают на сопряжении магазинного уступа со средствами охраны штрека и целиком угля. В почве и кровле охранных конструкций зоны концентрации напряжений распространяются на расстояние до 10 м. Это свидетельствует о том, что целики воспринимают большую нагрузку и снижают влияние очистных работ на штрек. Над и под магазинным уступом образуются зоны разгрузки (изолинии 3 и 4 МПа ориентировочно соответствуют  $\mu H$ ), которые распространяются в кровлю на расстояние 12-16 м и в почву на 4-6 м.

Возникающие локально зоны разрушенных пород расширяются и вызывают повышенные смещения кровли.



1 – откаточный штрек; 2 – угольный целик; 3, 4 – состояние основной и непосредственной кровли вокруг штрека; 5, 6, 7 – состояние кровли и почвы в выработанном пространстве

Рис. 3 – Напряженно-деформированное состояние породного массива в условиях шахты «Нестор» (напряжения указаны в МПа): а – начало отработки пласта; б – после прохода лавы

Неравнокомпонентные нагрузки в массиве формируют асимметричную конфигурацию зон неупругих деформаций и неравномерные по длине лавы смещения.

Анализ линий скольжения показал, что они упорядочиваются в зонах неупругих деформаций, где в условиях сдвига дислокаций формируются отслаивающиеся блоки. Вокруг откаточного штрека линии скольжения направлены параллельно обнаженной поверхности, а вне влияния горных работ расположены без какой либо организации. Это подтверждает вывод о том, что перед разрушением участка массива в нем происходит изменение направлений и формирование зон сосредоточенных сдвиговых усилий, которые способствуют возникновению магистральных трещин и блочных структур.

В зоне разгрузки над магазинным уступом характер разрушения массива различается. Как видно на рис. 3, а, трещиноватые породы, нарушенные горными работами, образуют «купол» в кровле магазинного уступа, а в почве располагаются до его середины. Такой механизм деформирования подтверждается многочисленными наблюдениями и измерениями в очистных забоях. Полученные параметры НДС массива позволили оценить объемы разрушений, вызванные горными работами. Оценка размеров, конфигурации и расположения относительно выработанного пространства лавы зон разрывных нарушений (при действии растягивающих напряжений) дала возможность выполнить интегральную оценку прилегающего к выработке породного массива.

В зонах упругого деформирования можно проследить тенденции изменения поля напряжений, характерные для прочных пород. Максимальные значения касательных напряжений наблюдаются в почве и кровле пласта над подготовительной выработкой и в кровле целика угля. Над выработанным пространством по границе зоны обрушения касательные напряжения минимальны. В отличие от сил сдвига, значения минимальной компоненты тензора напряжений определяют степень неравнокомпонентности поля напряжений и имеют максимум в кровле над штреком, а минимум – в зонах разгрузки.

Математическое моделирование показало, что при отработке угля зона растягивающих напряжений над очистным пространством формируется от центра увеличивающегося пролета основной кровли, а значения напряжений снижаются в направлении от центра к флангам выработанного пространства, что уменьшает вероятность вывалообразования. Максимальные главные напряжения в прилегающем к выработанному пространству массиве превышают природную прочность пород только локально, поэтому полная доработка шахтного поля может быть осуществлена без применения жестких охранных конструкций. Установлены принципиальные схемы развития процесса обрушения пород при ведении горных работ, выделены границы, за пределами которых обрушения пород не могут развиваться. Основные положения геомеханических расчетов подтверждены практикой.

Обобщением результатов изучения геомеханических условий отработки пласта  $h_7$  шахты «Нестор» установлено, что кровля выработанных пространств сохраняют свою устойчивость от нескольких месяцев до 2-4 лет. При развитии локальных обрушений пород над выработанным пространством формируется поле пониженных напряжений. При ведении горных работ увеличиваются на-



пряжения в песчанике основной кровли, которые достигают максимальных значений в зоне перегиба над откаточным штреком и целиком перед магазинным уступом. Оценка напряженно-деформированного состояния породного массива позволяет обоснованно увеличить пролеты долговременно устойчивых очистных пространств и снизить объемы или отказаться полностью от поддержания кровли целиками.

На основе проведенных исследований установлены закономерности формирования поля напряжений, зон неупругих деформаций и смещений структурно-неоднородных пород кровли под влиянием очистных работ, определено влияние сил сопротивления крепи в выработанном пространстве на состояние основной и непосредственной кровли. Разработана методика выбора рациональных способов отработки и управления горным давлением, предусматривающая оценку способов отработки угля с поддержанием очистного пространства на индивидуальной крепи и кострах, постоянных целиках, а также с обрушением вмещающих пород в процессе выемки временных целиков и полным обрушением. Основными критериями выбора рационального технического решения являются параметры напряженно-деформированного состояния кровли, определяемые размерами очистного пространства по падению и простиранию, порядком отработки и формоизменением очистного забоя, схемой установки и техническими характеристиками средств крепления. При необходимости, полученные параметры корректируются для более полного отражения особенностей горного массива. Методика выполнена в соответствии с действующими правилами и указаниями по безопасному ведению горных работ с учетом имеющихся в них условий и ограничений. Отдельные методические аспекты были учтены при составлении рабочих проектов по отработке новых горизонтов месторождения с применением высокоэффективного оборудования.

Таким образом, результаты проведенных исследований позволили ответить на ряд ранее нерешенных вопросов, связанных с подработкой структурно-неоднородного массива под зоной выветривания, а использование на практике разработанных рекомендаций и технических решений – обеспечить более высокую эффективность и безопасность ведения горных работ вследствие или полного отказа от дорогостоящей системы разработки, или минимизации объемов оставляемых целиков. Следует отметить, что горно-геологические условия начала разработки месторождения шахты «Нестор» можно принять за наиболее характерные для Антрацитовского района Луганской области, а установленные для этих условий закономерности и разработанные технические решения можно распространить и на другие подобные условия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 4. Экспериментально-аналитический метод прогноза направлений и интенсивности газовых потоков / А.Ф. Булат, С.А. Курносов, И.Н. Слащев [и др.] // Геотехническая механика. – Днепропетровск : ИГТМ НАНУ, 2005. – Вып. 59. – С. 10-21.
2. Слащев, И.Н. Оценка техногенной трещиноватости методами математического моделирования / И.Н. Слащев // Геотехническая механика. – Днепропетровск : ИГТМ НАНУ, 2010. – Вып. 85. – С. 239-250.
3. Слащев, И.Н. Обоснование геомеханических параметров откаточных штреков в условиях Центрального района Донбасса / И.Н. Слащев // Геотехническая механика. – Днепропетровск : ИГТМ НАНУ, 2000. – Вып. 51. – С. 305-311.

Канд. техн. наук В.Л. Морус  
(ИГТМ НАН Украины),  
канд. техн. наук П.Е. Филимонов  
(ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько»)

## **ТЕХНИКА ДЕЗИНТЕГРАЦИИ, ПРОМЫВКИ И КЛАССИФИКАЦИИ МАТЕРИАЛОВ И МИНЕРАЛОВ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Розроблено техніку дезінтеграції, промивання й класифікації глиновміщуючих матеріалів і мінералів техногенних родовищ. Наведено приклади застосування техніки.

### **A TECHNIQUE OF DISINTEGRATION, WASHING AND CLASSIFICATION IS MATERIALS AND MINERALS OF TECHNOGENIC DEPOSITS**

The technique of disintegration, washing and classification of claycontaining materials and minerals of technogenic deposits is developed. The examples of application of technique are resulted.

Для значительного числа технологических процессов, связанных с первичной добычей и переработкой полезных минералов, всегда важными и трудными являются проблемы их отмывки от глинистых материалов. Эти проблемы традиционно сопровождают задачи обогащения россыпных месторождений, месторождений большинства типов руд цветных металлов, марганцевых руд, нерудных строительных материалов, кварцитов и кварцевых песков, углей, содержащих глины или глинистые песчаники, и многих других минералов. Вместе с тем, только на территории Украины к настоящему времени накоплены громадные количества отходов горного производства и сформировано большое число техногенных месторождений, являющихся потенциальными источниками полезных ископаемых. В этих месторождениях заскладировано значительное количество материалов, зачастую относимых к категории отходов только по причине повышенного содержания глин. Перечисленное, а также наметившиеся в последнее время тенденции вовлечения в переработку и утилизацию всё увеличивающихся объёмов отходов горного производства, обуславливают постоянно возрастающую актуальность создания и использования новой современной техники для эффективной дезинтеграции, диспергации и отмывки как первично добываемых, так и вторично перерабатываемых материалов из отвалов, терриконов, хвостохранилищ рудо- и углеобогатительных фабрики др.

В Институте геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины в течение многих лет ведутся исследовательские работы по созданию, освоению производства и широкому внедрению технологически высокоэффективного и долговечного обогатительного оборудования на основе рабочих поверхностей из износостойких резин и динамически активных просеивающих поверхностей типа СДАЛ. Одним из направлений таких работ, развиваемых в последнее время совместно с ООО фирма «Размах», является создание специального высокопроизводительного оборудования для отмывки добытых и измельчённых абразивных минералов техногенных месторождений. В числе последних разработок