

УДК 622.831.312

**Слащев И.Н.**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,  
**Слащева Е.А.**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.  
(ИГТМ НАН Украины)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ЗОН  
РАЗРУШЕНИЯ В ПОРОДНОМ МАССИВЕ ПРИ ОТРАБОТКЕ  
СМЕЖНЫХ ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ ШАХТ**

**Слащов І.М.**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.,  
**Слащова О.А.**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.  
(ІГТМ НАН України)

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСА ФОРМУВАННЯ ЗОН РУЙНУВАННЯ  
В ПОРОДНОМУ МАСИВІ ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ СУМІЖНИХ  
ВІЙМКОВИХ ДІЛЬНИЦЬ ШАХТ**

**Slashchev I.N.**, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher,  
**Slashcheva Y.A.**, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher  
(IGTM NAS of Ukraine)

**STUDY OF CAVING ZONE FORMATION IN THE ROCK MASSIF  
AT MINING ADJACENT PANELS IN THE MINES**

**Аннотация.** В статье приведены исследования процесса формирования зон разрушения в породном массиве как фактора, влияющего на состояние геотехнологической системы «массив пород смежных выемочных участков – поддержание выработок». Установлены геомеханические закономерности формирования зон разрушения при отработке смежных выемочных участков: объемы нарушенных пород вокруг выработки и необходимая несущая способность средств крепления возрастают прямо пропорционально с глубиной, при этом устойчивость системы «крепь-массив» обратно пропорциональна весу разрушенных пород кровли; в процессе отработки смежных лав с увеличением расстояния от кровли пласта с 7 м до 60 м максимумы напряжений снижаются до двух раз при отработке первой лавы и до четырех раз – для смежных лав; как при отработке одной лавы, так и при отработке смежных лав объемы разрушений пород от деформаций растяжения преобладают над объемами разрушений от деформаций сдвига поскольку над горными выработками происходит зависание вышележащих пород, на которые первоначально действуют растягивающие силы, но суммарные объемы разрушенных пород при отработке первой лавы в 2-6 раз меньше, чем при отработке смежных лав; отработка смежной лавы вызывает резкое в 3-4 раза увеличение зон разрушений пород, интенсивность роста которых в дальнейшем снижается, при этом сохраняется большая скорость разрушения пород при эксплуатации смежных лав, чем при эксплуатации одной лавы. Полученные научные результаты используются для определения рациональных параметров систем разработки и повышения интенсивности работы горнодобывающих предприятий.

**Ключевые слова:** геомеханика породного массива, зоны разрушения, смежные участки шахт, моделирование массива пород

Расчеты изменений параметров зон разрушения в породном массиве при отработке смежных выемочных участков обеспечивают возможность совместной оценки геомеханического и газодинамического состояний приконтурных пород и выработанных пространств. Напряженно-деформированное состояние пород-

ного массива исследовано методом конечных элементов путем решения прямых задач, в которых на основе известных физико-механических свойств пород выполнялся расчет возможных деформаций, главных напряжений и зон неупругих деформаций для различных этапов отработки смежных очистных выработок. Породный массив рассматривается как трещиноватая геологическая среда с неравнокомпонентным исходным полем напряжений (описывается тензором напряжений) для которой принято допущение, что в пределах одного конечного элемента поле напряжений однородно. Основные уравнения теории упругости известны и представляются условиями статического равновесного состояния, совместности деформаций и напряжений [1], [Zienkiewicz, O.C., 1971]. Упругие деформации происходят до определенного уровня, после чего происходит процесс разрушения горных пород (прогрессивное увеличение перемещений и деформаций). Превышение внешними напряжениями прочности пород в условиях деформации растяжения ограничено критерием  $C/5$  ( $C$  – предел прочности на сдвиг). Уровень превышения внешними напряжениями прочности пород в условиях деформации сдвига определялся из известного критерия Кулона-Мора

$$\tau = C + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi , \quad (1)$$

где  $\sigma_n$  – напряжение, нормальное к площадке сдвига, Па;  $\varphi$  – угол внутреннего трения, град.

Расчет математической модели включает разделение участка массива пород на элементы, формирование матрицы жесткости системы, составление и решение системы линейных уравнений, вычисление перемещений в узлах модели, определение компонент напряжений. Если одно из предельных условий выполнялось, то расчет зон неупругих деформаций осуществляется методом начальных напряжений [Zienkiewicz, O.C., 1971]. Модель геомеханической системы содержит структурные характеристики массива и физико-механические свойства пород. Технология компьютерного анализа реализована в программном комплексе ИГТМ НАНУ «GEO-RS» [2-4].

Для установления общих закономерных повторяющихся связей между предшествующими и последующими состояниями геомеханической системы необходимо использовать усредненные статистические показатели физико-механических свойств пород с учетом коэффициентов вариации. Средние прочности углевмещающих пород по установленным данным [5] составляют: для аргиллитов и алевролитов 15-46 МПа (разброс 27-29 %), для песчаников – 47-70 МПа (разброс 19-20 %), для известняков – 55-82 МПа (разброс 18-19 %). При этом средние пределы сопротивления сжатию при водонасыщении снижаются: для аргиллитов и алевролитов на ~ 61-62 %, для песчаников и известняков на ~ 31-33 %. При влагонасыщении породы имеют больший разброс значений на ~ 48-58 % для глинистых аргиллитов и алевролитов и на ~ 44-52 % для песчаников и известняков. Результаты анализа физико-механических свойств пород приведены в табл. 1, заданные в модели характеристики – в табл. 2.

Таблица 1 – Средние значения показателей прочности и коэффициентов вариации прочности горных пород

Тип пород	Средние значения прочностных свойств пород			
	Предел прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ , МПа	Средний коэффициент вариации $V$ , %	Сцепление $C$ , МПа	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град
Аргиллит	40,0	28	15	20
Аргиллит водонасыщенный	15,4	55		
Алевролит	45,5	28	18	25
Алевролит водонасыщенный	17,4	54		
Песчаник	69,6	19	27	32
Песчаник водонасыщенный	46,9	35		
Известняк	82,0	19	19	27
Известняк водонасыщенный	55,1	32		

Таблица 2 – Принятые в модели физико-механические свойства пород

Тип пород	Свойства пород					
	Модуль упругости $\times 10^{-4}$ $E$ , МПа	Коэффициент Пуассона $\nu$	Объемный вес $\gamma$ , МН/м <sup>3</sup>	Угол внутр. трения $\varphi$ , град	Сцепление $C$ , МПа	Коэффициент структурного ослабления $k_{стр}$
Аргиллит	0,3	0,33	0,024	20	15	0,3
Алевролит	2,0	0,23	0,027	25	21	0,3
Песчаник	4,5	0,28	0,026	32	27	0,3
Известняк	4,0	0,25	0,026	27	19	0,9
Уголь трещиноватый	0,8	0,29	0,018	24	12	0,35

Специфика отработки смежных выемочных участков заключается, прежде всего, в том, что смежные очистные выработки непрерывно перемещаются в пространстве. Подготовительные выработки поддерживаются или на всем их протяжении, или на небольшой части, примыкающей непосредственно к забою. Зоны разгрузки и опорного давления перемещаются в пространстве вместе с забоем очистной выработки. Под влиянием высоких напряжений примыкающие к выработке уголь и породы разрушаются, их несущая способность падает, максимумы опорного давления перемещаются вглубь массива. Поэтому определяющим фактором активизации процесса разрушения в породном массиве смежных выемочных участков служит последовательность и параметры отработки очистных забоев.

Расчетные схемы геомеханической модели построены путем воссоздания геометрического подобия исследуемой области в окрестности смежных выемочных участков размером 380x100 м и включали 8000 элементов и 4131 узлов, рис. 1. Параметры напряженно-деформированного состояния породного массива определялись в узлах и элементах модели через каждые 1...2 м. Подготовительные выработки в модели имели прямоугольную форму. Распределенная нагрузка на расчетную схему соответствовала глубинам разработки от 400 м до

1200 м. Область установки механизированной крепи смоделирована на расстоянии 2 м от плоскости забоя, что соответствует геометрическим параметрам механизированной крепи. Исследования проведены путем последовательного вычисления серии квазистационарных напряженно-деформированных состояний массива пород, которые отражают наиболее характерные этапы отработки смежных участков шахт, табл. 3.

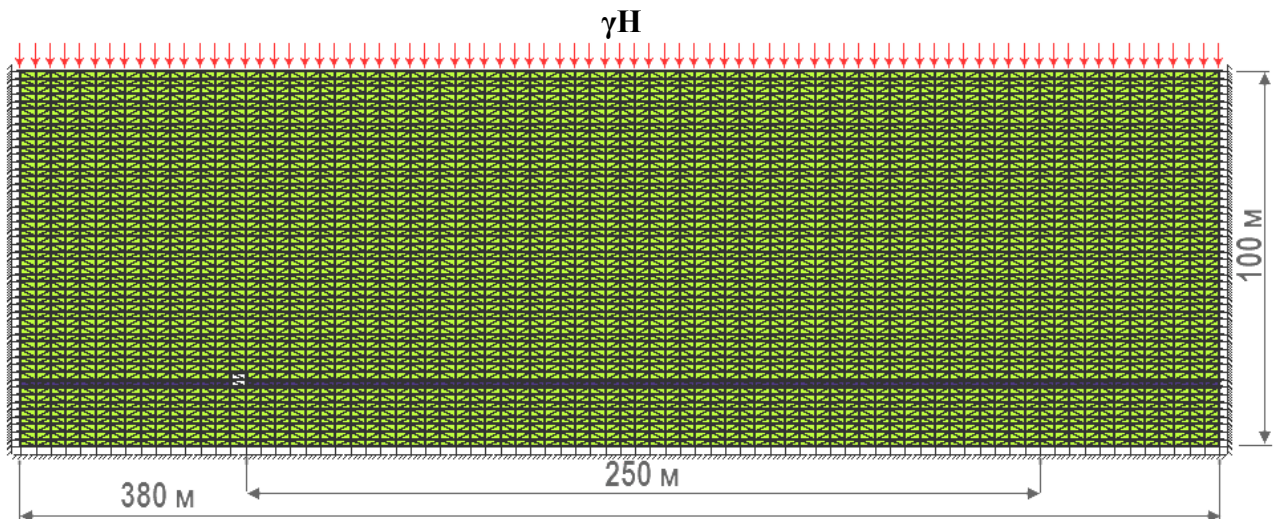


Рисунок 1 – Расчетная схема для оценки зон разрушения в породном массиве при отработке смежных выемочных участков

Таблица 3 – Исследуемые этапы отработки смежных выемочных участков

Характеристика квазистационарного состояния	
Отработка первой лавы	В окне лавы
	Выработанное пространство – потеря устойчивости непосредственной кровли 5-40 м за лавой
	Выработанное пространство – разрушение нижней части основной кровли 30-70 м за лавой
	Выработанное пространство – потеря устойчивости основной кровли 80-90 м за лавой
Дальнейшая отработка смежной лавы	В зоне отжима угля перед очистным забоем
	В окне лавы
	Выработанное пространство – потеря устойчивости непосредственной кровли 5-40
	Выработанное пространство – разрушение нижней части основной кровли 30-70 м за лавой
	Выработанное пространство – потеря устойчивости основной кровли 80-90 м за лавой

С целью установления наиболее общих взаимосвязей между параметрами технологии отработки смежных выемочных участков и напряженно-деформированным состоянием породного массива исследованы изменения коэффициентов концентрации  $k_k$  максимальных главных напряжений  $\sigma_1$  при различных этапах отработки первой лавы и дальнейшей отработке смежной ла-

вы ( $k_k = \sigma_1 / \gamma H$ , рис. 2).

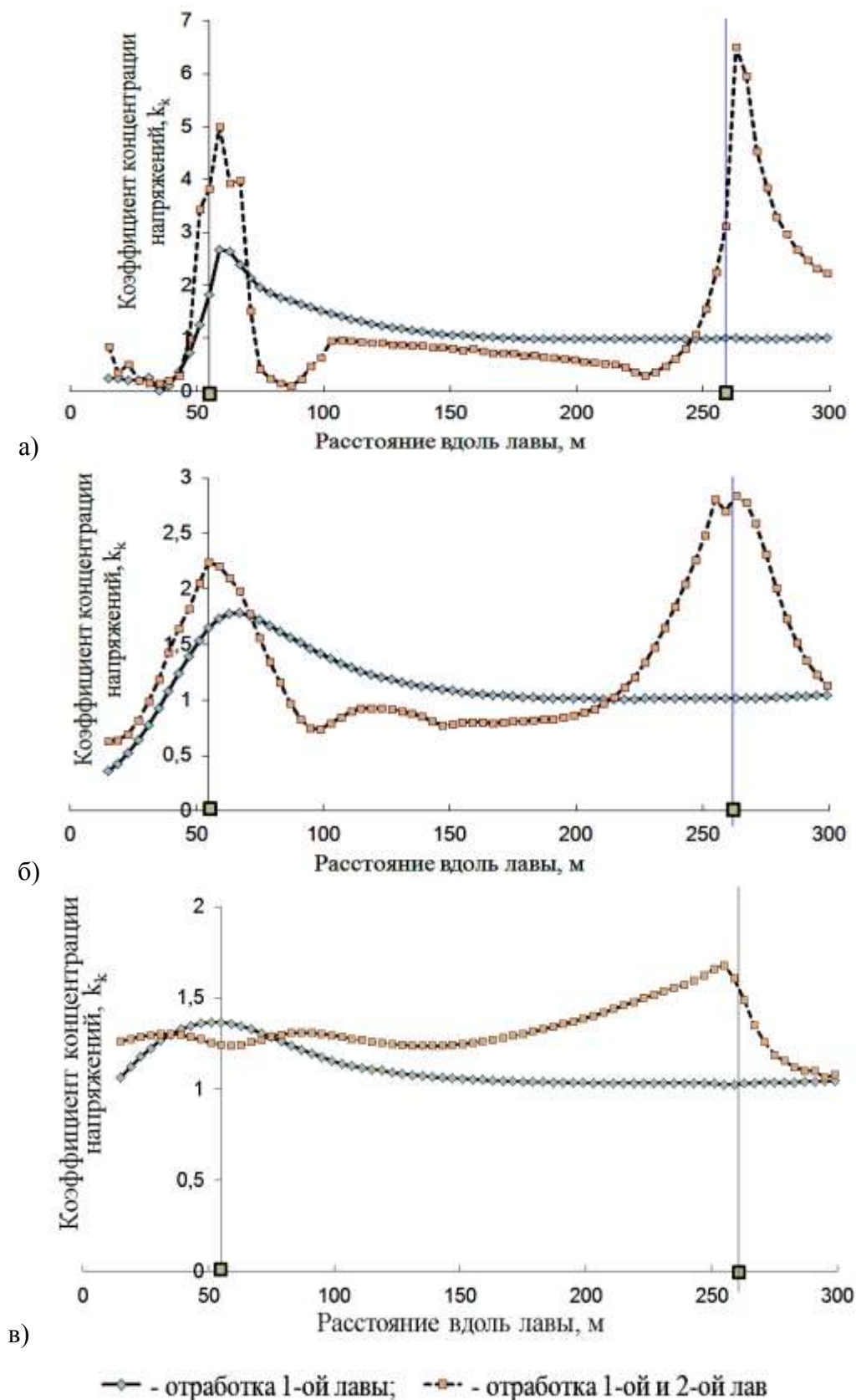


Рисунок 2 – Напряженное состояние пород кровли смежных лав в процессе их отработки на удалении от пласта: а – на 7 м, б – на 30 м, в – на 60 м

Как показали расчеты с увеличением расстояния вверх от пласта с 7 м до 60 м графики коэффициентов концентрации напряжений выстраиваются. Максимальные концентрации напряжений при отработке первой лавы (этапы 1-4, см. табл. 3, рис 2, а-в) уменьшаются с 2,3 до 1,3, при дальнейшей отработке смежных лав – с 6,5 до 1,6 (этапы 5-9, см. табл. 3, рис 2, а-в). То есть, с увеличением расстояния от кровли пласта с 7 м до 60 м максимумы напряжений снижаются при отработке первой лавы до двух раз, для двух лав – до четырех раз. Для первой лавы со стороны нетронутого массива при удалении вверх от пласта зависимости имеют похожий характер, в частности, для всех графиков уровень напряжений в зоне стационарного опорного давления над выработкой уменьшается до уровня  $\gamma H$  (коэффициент концентрации напряжений приблизительно равен единице) при отдалении от нее в сторону нетронутого пласта на расстояние до 160 м.

При дальнейшей отработке смежной лавы происходит разгрузка кровли непосредственно над выработанным пространством на расстоянии до 30 м, где наблюдается восстановление напряжений до уровня нетронутого массива пород. При удалении в кровлю пласта свыше 30 м концентрация напряжений над выработанным пространством возрастает, т. е. при переходе от разрушенного породного массива горных пород над лавой к неразрушенному происходит повышение напряжений, которые компенсируют пониженные напряжения в разрушенных нижних слоях пород.

Для исследования динамики изменения напряжений и уточнения величин концентрации напряжений в кровле при отработке смежных выемочных участков на рис. 3 приведены графики разностей коэффициентов концентрации напряжений при отработке одной и двух лав ( $k_k^1 - k_k^2$ ) по горизонтальным сечениям на расстоянии от кровли пласта 7 м, 30 м и 60 м. Проведение второй выработки (конвейерного штрека смежной лавы) и дальнейшая отработка смежной лавы приводят к кардинальному повышению напряжений над конвейерным штреком, которые в три раза превышают значения напряжений над первой выработкой (штреком первой лавы).

Начальные разрушения пород кровли происходят в зоне отжима угля перед очистным забоем и в окне лавы (1, 5 и 6 этапы отработки, табл. 3, рис. 4). Вместе с тем активное обрушение слоев кровли начинается по линии постановки посадочного ряда стоек механизированной крепи. Расчетные квазистационарные состояния пород в промежутке 5...40 м за лавой (2 и 7 этапы отработки, табл. 2.3, рис. 2.4) соответствуют зонам разрушения, которые распространяются на нижнюю часть кровли непосредственно над вынимаемым пластом на высоту 3...4 кратной вынимаемой мощности угольного пласта. Это соответствует потере устойчивости непосредственной кровли пласта, рис. 4. Зона разрушений горных пород на расстоянии 30...70 м развивается по вертикали над вынимаемым пластом.

Развитие области неупругого деформирования горных пород в вертикальном направлении происходит до отметки отхода очистного забоя на 80...90 м (этапы 3, 4, 6...9). Максимальная высота области над выработанным простран-

ством, разрушенной от деформаций растяжения, составляет 8...20 м над разрабатываемым пластом. Выше границы зоны растяжения происходит прогиб слоев горных пород без нарушения сплошности. При дальнейшем увеличении выработанного пространства зона разрушений распространяется только в направлении подвигания очистного забоя.

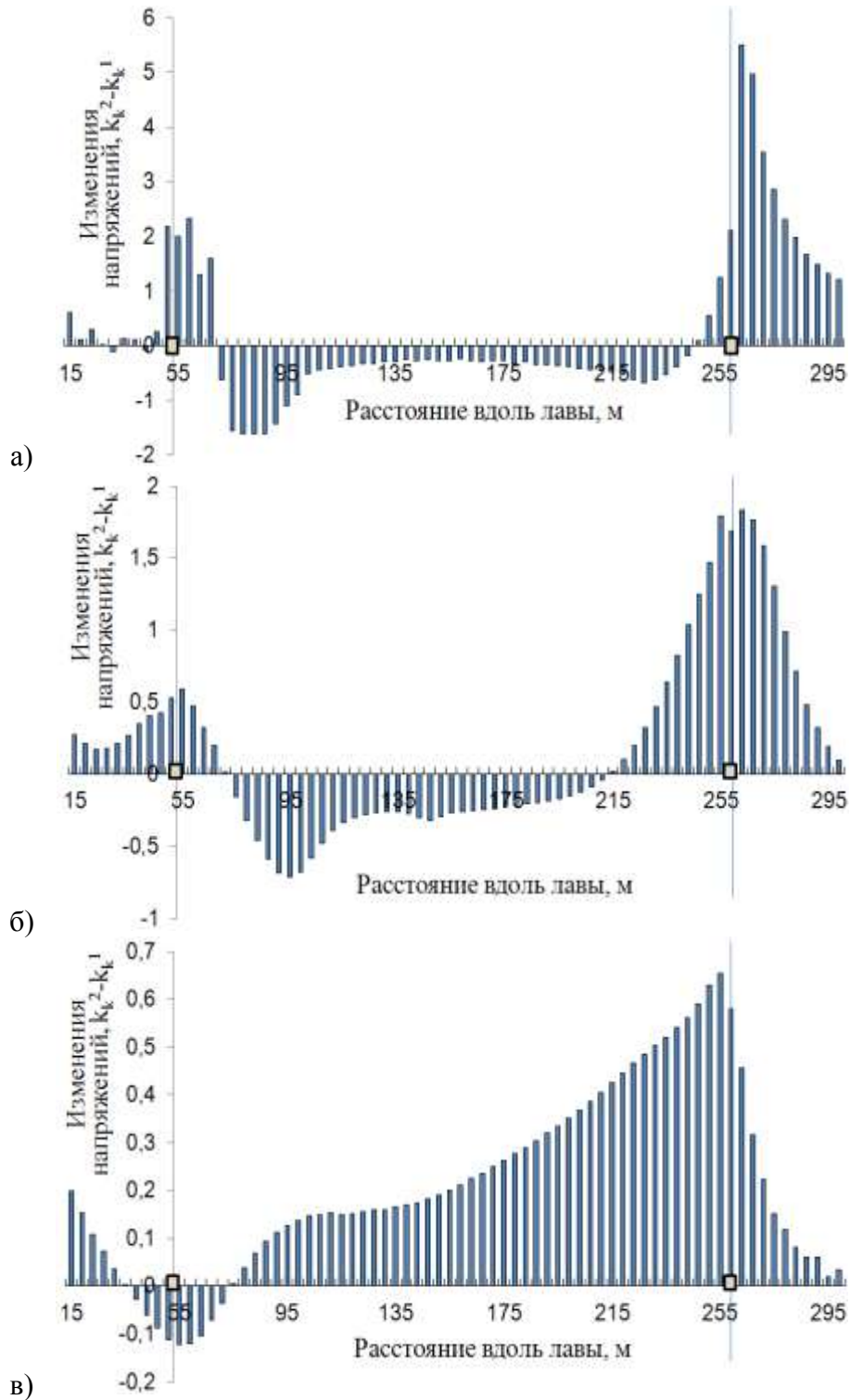


Рисунок 3 – Изменения концентрации напряжений кровли в процессе отработки смежной лавы на удалении от пласта: а – на 7 м, б – на 30 м, в – на 60 м

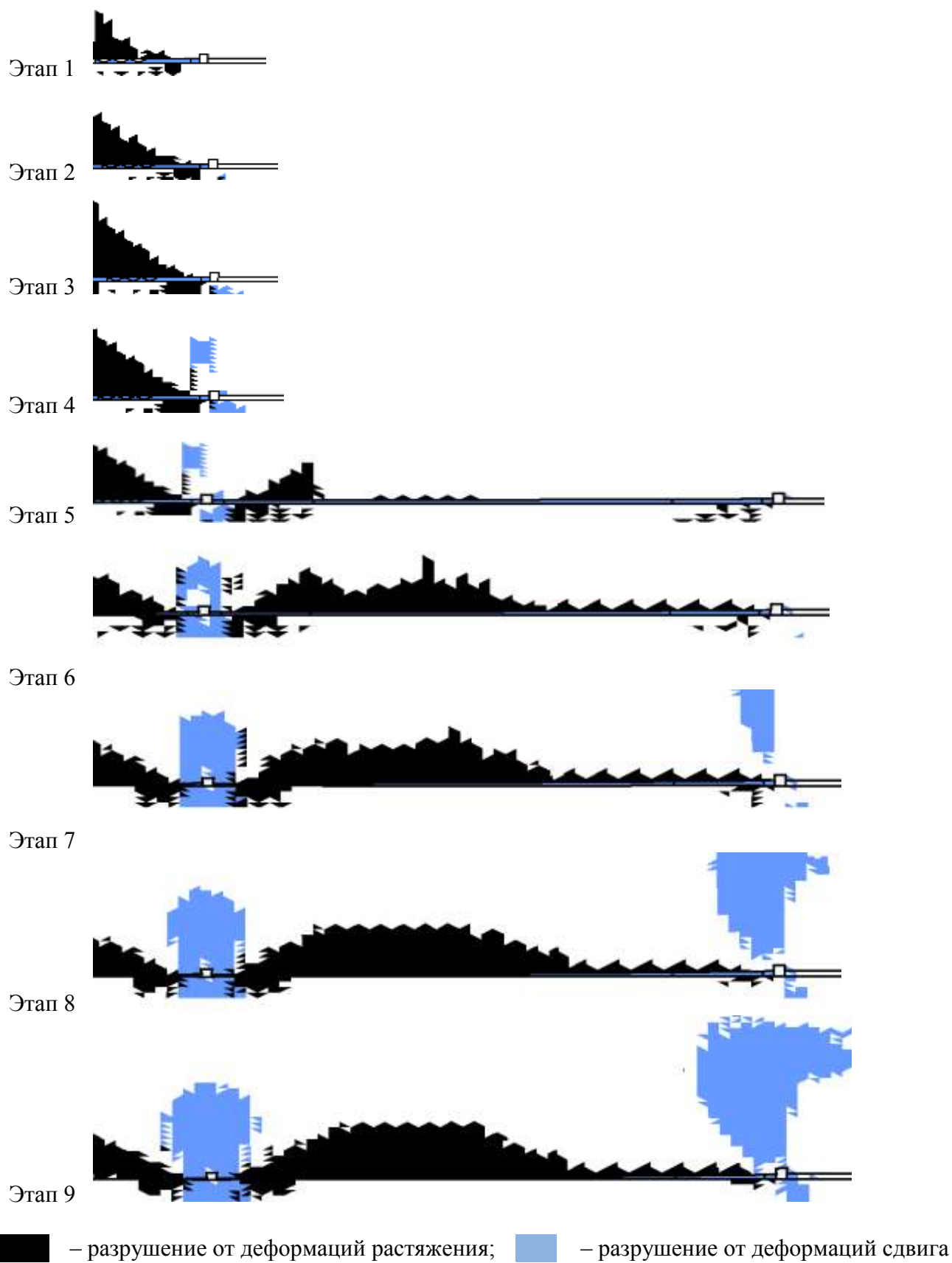


Рисунок 4 – Формирование зон разрушения при отработке смежных выемочных участков



Следует отметить, что при обработке одной лавы, как и при обработке смежных лав, деформации растяжения преобладают над деформациями сдвига, рис. 5, поскольку над горными выработками происходит зависание вышележащих пород, на которые первоначально действуют растягивающие силы. Суммарные объемы разрушенных пород при обработке первой лавы в 2-6 раз меньше, чем при обработке смежных лав.

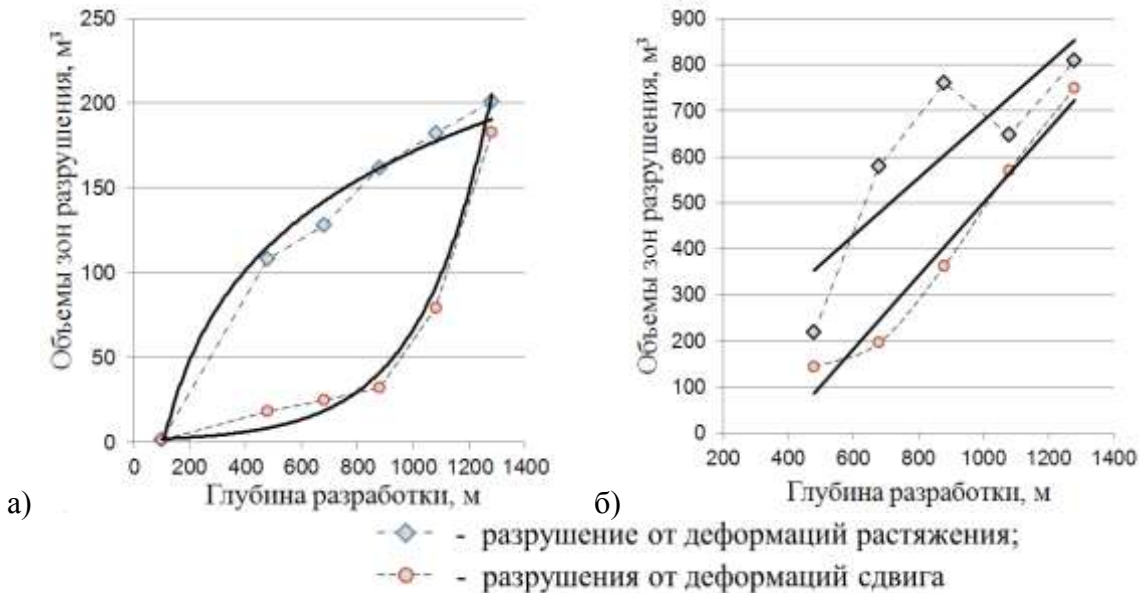


Рисунок 5 – Динамика развития зон разрушения в породах кровли смежных выемочных участков при обработке одиночной лавы (а) и дальнейшей обработке смежной лавы (б) с учетом характера деформаций геомеханической системы

Обработка смежной лавы вызывает резкую интенсификацию роста объемов разрушенных пород в 3-4 раза, рис. 6, а. С течением времени скорость дезинтеграции пород может снижаться рис. 6, б, но, в целом, тенденция увеличения объемов и интенсивности разрушений при введении в эксплуатацию второй лавы не изменяется.

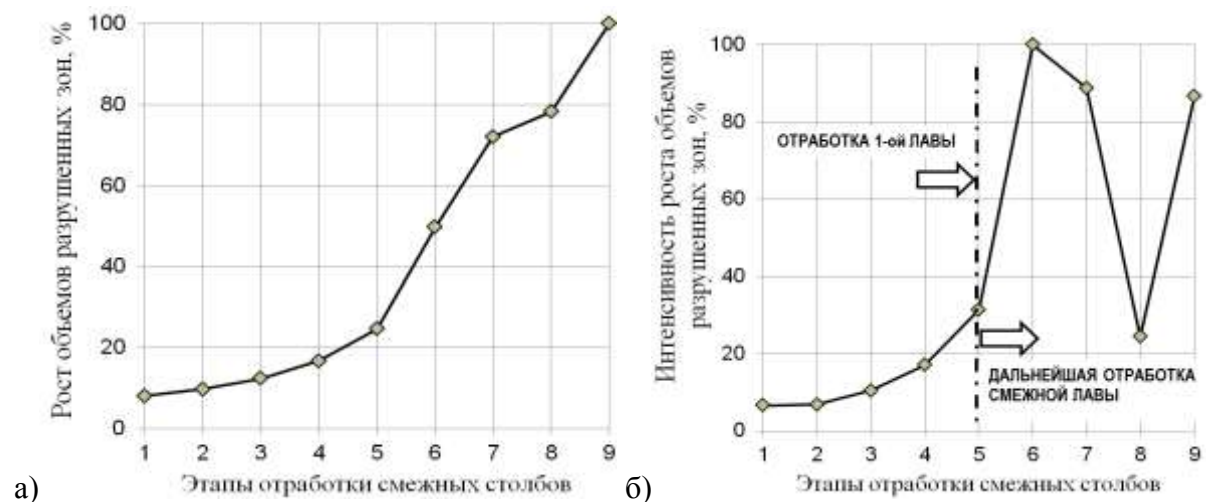


Рисунок 6 – Закономерности увеличения объемов (а) и интенсивности роста разрушенных зон в породном массиве при обработке смежных участков

Средства охраны подготовительных горных выработок и технология их возведения при отработке смежных выемочных участков столбовой системой разработки должны соответствовать силовым воздействиям и деформациям породного массива в определенные временные интервалы эксплуатации. При этом успешное поддержание выработок предполагает соблюдение ряда основных геомеханических требований: компенсацию отпора извлеченного угольного пласта на участках сопряжения лавы со штреком в выработанном пространстве ранее отработанных лав; исключение разрушения бермы; обеспечение условий для управления размерами зависающих над выработкой породных консолей путем подбора обоснованных параметров охранных конструкций – высокой податливости для плавного опускания кровли или высокой жесткости для обрушения зависающей консоли кровли. Определение рациональных параметров систем крепления предполагает оценку прогностических сценариев изменения нагрузок на крепи от веса обрушенных пород. Нагрузки на крепи вычисляются путем расчета веса разрушенных элементов геомеханической модели в створе кровли выработки непосредственно возле обнажения в зоне ее влияния (зоны разрушения состоят из элементов, у которых разрушились одна или более механических связей). Методом математического моделирования установлены геомеханические зависимости роста объемов зон разрушения в породном массиве (относятся к единичной площади обнажения выработки) от глубины при отработке смежных выемочных участков, табл. 4. С увеличением глубины разработки с 400 м до 1200 м объемы нарушенных пород вокруг выработки и необходимая несущая способность средств крепления возрастают прямо пропорционально с глубиной, при этом устойчивость системы «крепь-массив» обратно пропорциональна весу разрушенных пород кровли.

Таблица 4 – Изменения объемов зон неупругих деформаций (относятся к единичной площади обнажения выработки) в процессе отработки смежных выемочных участков

Этапы отработки смежных лав	Аналитическая зависимость	Коэф. детерминации $R^2$	Коэф. корреляции $r_{xy}$
Отработка первой лавы (разрушения от деформаций растяжения)	$V = 307,6 \ln(H) - 1432$	0,983	–
Отработка первой лавы (разрушения от деформаций сдвига)	$V = 4,77e^{0,004H}$	0,927	–
Отработка первой лавы (суммарный объем зон неупругих деформаций)	$V = 5,68H - 969$	0,967	0,98
Дальнейшая отработка смежной лавы (разрушения от деформаций растяжения)	$V = 2,51H + 209$	0,718	0,85
Дальнейшая отработка смежной лавы (разрушения от деформаций сдвига)	$V = 3,18H - 1178$	0,969	0,98
Дальнейшая отработка смежной лавы (суммарный объем зон неупругих деформаций)	$V = 1,19H - 143$	0,955	0,98

Таким образом, для лав пологозалегающих угольных пластов были установлены некоторые общие положения, отражающие характер и особенности поведения пород кровли при перемещении в пространстве угольного забоя в процессе отработки смежных выемочных участков:

- объемы нарушенных пород вокруг выработки и необходимая несущая способность средств крепления возрастают прямо пропорционально с глубиной, при этом устойчивость системы «крепь-массив» обратно пропорциональна весу разрушенных пород кровли;

- в процессе отработки смежных лав с увеличением расстояния от кровли пласта с 7 м до 60 м максимумы напряжений снижаются до двух раз при отработке первой лавы и до четырех раз – для смежных лав; пики напряжений в зоне опорного давления располагаются преимущественно на расстоянии от забоя, равном 3-5 мощностей вынимаемого пласта; над всем очистным пространством уровень напряжений в массиве постепенно уменьшается, а в зоне опорного давления – увеличивается;

- как при отработке одной лавы, так и при отработке смежных лав объемы разрушений пород от деформаций растяжения преобладают над объемами разрушений от деформаций сдвига поскольку над горными выработками происходит зависание вышележащих пород, на которые первоначально действуют растягивающие силы, но суммарные объемы разрушенных пород при отработке первой лавы в 2-6 раз меньше, чем при отработке смежных лав;

- отработка смежной лавы вызывает резкое в 3-4 раза увеличение зон разрушений пород, интенсивность роста которых в дальнейшем снижается, при этом сохраняется большая скорость разрушения пород при эксплуатации смежных лав, чем при эксплуатации одной лавы.

Полученные научные результаты используются для определения рациональных параметров систем разработки и повышения интенсивности работы горнодобывающих предприятий.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Галагер, Р. Метод конечных элементов. Основы: пер. с англ. / Р. Галагер. – М.: Мир, 1984. – 428 с., ил.
2. Слащева, Е.А. Особенности решения геомеханических задач для условий обводненного газонасыщенного массива горных пород / Е.А. Слащева, И.Н. Слащев, А.А. Яланский // Геотехническая механика. – Днепропетровск : ИГТМ НАНУ, 2014. – Вып. 115. – С. 232-244.
3. Математическое моделирование в задачах оценки эффективности и безопасности горных работ: монография / М.Ю. Иконников, Ю.Р. Иконников, Е.А. Слащева, И.Н. Слащев, А.А. Яланский ; М-во образования и науки Украины, Нац. горн. ун-т. – Днепропетровск: НГУ, 2015. – 215 с.
4. Слащев, И.Н. Применение информационных технологий для повышения эффективности и безопасности горных работ / И.Н. Слащев // Уголь Украины. – 2013. – № 2. – С. 40-43.
5. Обґрунтування вихідних параметрів для моделювання геомеханічних процесів в задачах оцінки безпеки підтримання гірничих виробок / А.О. Яланський, І.О. Сапунова, А.І. Слащов, Л.А. Новіков // Геотехнічна механіка: Межвед. сб. науч. трудов / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2012. – Вип. 119. – С. 282-295.

#### REFERENCES

1. Gallager, R. (1984), *Metod konechnykh elementov. Osnovy* [Finite Element Analysis. Fundamentals], Translated by Kartvelishvili, V.M., in Banichuk, N.V. (ed.), Nauka, Moscow, SU.
2. Slashchova, O.A., Slashchov, I.N. and Yalanskiy, A.A. (2014), “Features solutions for problems of

geomechanical watery gas-saturated rock massif”, *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [GeoTechnical Mechanics], no. 115, pp. 232-244, UA.

3. Ikonnikov, M.YU., Ikonnikov, YU.R., Slashcheva, Ye.A., Slashchev, I.N. and Yalanskiy, A.A. (2015), *Matematicheskoye modelirovaniye v zadachakh otsenki effektivnosti i bezopasnosti gornyykh robot* [Mathematical modeling in solving problems of evaluating the efficacy and safety of mining operations], Natsionalnyy gornyy universitet, Dnipropetrovsk, UA.

4. Slashev, I.N. (2013), “The use of information technology to increase the efficiency and safety of mining operations”, *Coal of Ukraine*, no. 2, pp. 40-43.

5. Yalanskiy, A.A., Sapunova, I.O., Slashchov, A.I. and Novikov, L.A. (2012), “Justification of the initial parameters for geomechanical processes modeling in problems of safety assessment of mine workings maintenance”, *Geo-Technical Mechanics*, no. 119, pp. 282-295.

---

### Об авторах

**Слащев Игорь Николаевич**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе Проблем разработки месторождений на больших глубинах, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, IMSlashchov@nas.gov.ua

**Слащева Елена Анатольевна**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе Проблем разработки месторождений на больших глубинах, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, OASlashchova@nas.gov.ua

### About the authors

**Slashchev Igor Nikolaevich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Mineral Mining at Great Depths, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, IMSlashchov@nas.gov.ua

**Slashcheva Yelena Anatolyevna**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Mineral Mining at Great Depths, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, OASlashchova@nas.gov.ua

---

**Анотація.** У статті наведено дослідження процесу формування зон руйнування в породному масиві як чинника, що впливає на стан геотехнологічної системи «масив порід суміжних виїмкових дільниць – підтримання виробок». Встановлено геомеханічні закономірності формування зон руйнування при відпрацюванні суміжних виїмкових дільниць: обсяги порушених порід навколо виробки і необхідна несуча здатність засобів кріплення зростають прямо пропорційно з глибиною, при цьому необхідна стійкість системи «кріплення-масив» обернено пропорційна вазі зруйнованих порід покрівлі; в процесі відпрацювання суміжних лав зі збільшенням відстані від покрівлі пласта з 7 м до 60 м максимумами напружень знижуються до двох разів при відпрацюванні першої лави і до чотирьох разів – для суміжних лав; як при відпрацюванні однієї лави, так і при відпрацюванні суміжних лав обсяги руйнувань порід від деформацій розтягування переважають над обсягами руйнувань від деформацій зсуву оскільки над гірничими виробками відбувається зависання верхніх порід, на які спочатку діють розтягують сили, але сумарні обсяги зруйнованих порід при відпрацюванні першої лави в 2-6 разів менше, ніж при відпрацюванні суміжних лав; відпрацювання суміжній лави викликає різке в 3-4 рази збільшення зон руйнувань порід, інтенсивність росту яких в подальшому знижується, при цьому зберігається більша швидкість руйнування порід при експлуатації суміжних лав, ніж при експлуатації однієї лави. Отримані наукові результати використовуються для визначення раціональних параметрів систем розробки і підвищення інтенсивності роботи гірничодобувних підприємств.

**Ключові слова:** геомеханіка породного масиву, зони руйнування, суміжні ділянки шахт, моделювання масиву порід

**Abstract.** The article presents the study of caving zone formation considered as a factor affect-

ing the state of geotechnological system "rocks of adjacent panels – roof supports". The following geomechanical regularities of caving zone formation while mining the adjacent panels are established: volumes of disturbed rocks around the mine workings and the needed load-bearing capacity of the roof supports increase in direct proportion to depth, though the needed stability of the system "roof support-rock massif" is inversely proportional to the weight of broken roof rocks; in the process of adjacent longwall mining, when distance from the coal seam roof increases from 7 m to 60 m, the stress maxima reduce twice when the first longwall is mined and reduce by four times when the adjacent longwalls are mined; in case of mining the first longwall as well as in case of mining adjacent longwalls, volumes of rocks broken by stretching strains predominate over the volumes of rocks broken by shear deformations because overlying rocks which are initially under the action of tensile forces, hang over the mine workings, though total volume of broken rocks in case of mining the first longwall is 2-6 times less than in case of mining the adjacent longwalls; mining of adjacent longwall causes a sharp, by 3-4 times, increase of zones with broken rocks, intensive growth of which is further decrease, and speed of the rock failure is higher when the adjacent longwalls are used than when one longwall is used. The obtained scientific results are used for determining rational parameters for mining methods and increasing intensity of mining enterprise work.

**Keywords:** geomechanics of rock massif, caving zone, adjacent districts in mines, rock massif modeling.

*Статья поступила в редакцию 15.07. 2016*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук С.А. Курносовым*