

UDC 622.831.3

<https://doi.org/10.15407/mining11.01.080>

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ПРИ ОТРАБОТКЕ СВИТЫ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ

В. Бузило<sup>1</sup>, Т. Савельева<sup>2\*</sup>, В. Сердюк<sup>1</sup>, В. Савельев<sup>3</sup>, Ю. Демченко<sup>1</sup><sup>1</sup>Кафедра подземной разработки месторождений, Национальный горный университет, Днепр, Украина<sup>2</sup>Кафедра основ конструирования механизмов и машин, Национальный горный университет, Днепр, Украина<sup>3</sup>Кафедра программного обеспечения компьютерных систем, Национальный горный университет, Днепр, Украина\*Ответственный автор: e-mail [savelievats@gmail.com](mailto:savelievats@gmail.com), тел. +380665734507

## STUDY OF MASSIF STRESS-STRAIN STATE WHILE MINING THE SERIES OF FLAT STRATA

V. Busylo<sup>1</sup>, T. Savelieva<sup>2\*</sup>, V. Serdyuk<sup>1</sup>, V. Saveliev<sup>3</sup>, Yu. Demchenko<sup>1</sup><sup>1</sup>Underground Mining Department, National Mining University, Dnipro, Ukraine<sup>2</sup>Basic Design of Mechanisms and Machinery Department, National Mining University, Dnipro, Ukraine<sup>3</sup>Software Engineering Department, National Mining University, Dnipro, Ukraine\*Corresponding author: e-mail [savelievats@gmail.com](mailto:savelievats@gmail.com), tel. +380665734507

### ABSTRACT

**Purpose.** To determine the effect of rock overworking and underworking on massif stress-strain state while extracting the series of flat coal seams.

**Methods.** Mining, geological and technical conditions; current approaches to solution of the related problems were theoretically analysed on the basis of the developed calculation algorithm with the help of the boundary element method. We calculated maximum coefficients of stress concentration in the roof and floor of the working seam in the zones affected by pillars and contiguous seams.

**Findings.** Boundaries for areas of increased rock pressure in the roof and floor of the extracted seam at mining enterprise “Lvivvuhillia” were determined. Values of maximum coefficients of stress concentration were derived. The load acting on the section of powered support was calculated considering the weight of rocks located in the area of boundary stress state in the roof above the longwall face. It was stated that during stope workings in areas affected by contiguous seams’ selvage, the period of longwall face exposure from under the selvage of the low seam is the most hazardous in terms of rock pressure manifestation.

**Originality.** Analysis of stress-strain state of stratified heterogeneous massif around the stope was conducted considering overworking and underworking. Actual values of the force and geometrical parameters of the powered support were derived; rational velocity of stope advance in the given mining and geological conditions was determined.

**Practical implications.** The results of the study allowed to obtain the data necessary to choose the type of standing support and estimate rational force parameters for the powered support during its operation in the areas of high and low rock pressure as well as to determine the velocity of longwall face advance and permissible distance between stopes of contiguous seams for the mines of Lviv-Volyn basin.

**Keywords:** stress-strain state, coefficient of stress concentration, series of strata, overworking, underworking, pillar, selvages

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на шахтах Львовского региона принята панельная схема подготовки. Запасы отрабатываются длинными столбами обратным ходом. Наибольшие запасы сосредоточены в пластах  $n_9$ ,  $n_8^e$  и  $n_7^e$ . Специфика их разработки заключается в неоднократной подработке и надработке, в наличии краевых частей и целиков смежных пластов, создающих зна-

чительную концентрацию напряжений. В период с 1996 по 2001 годы в зонах повышенного горного давления находилось 47.7% площади, отрабатываемой 96-тью лавами. При этом 81% лав за период с 1996 по 2001 год работало в зонах влияния целиков и краевых частей, из них 56.4% – в зонах повышенного горного давления от целиков, оставляемых по двум-трем пластам одновременно.

В таких условиях среднеустойчивая кровля переходит в разряд неустойчивой, наблюдаются частые вывалы пород, используемые механизированные комплексы оказываются неработоспособными.

Для обеспечения эффективной работы лав в зонах повышенного горного давления, очевидно, необходимо установить адекватные значения силовых и геометрических параметров механизированной крепи, определить наиболее рациональную скорость подвигания очистного забоя в конкретных горно-геологических условиях. Все это требует проведения тщательного анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) слоистого неоднородного массива вокруг очистной выработки с учетом подработки и надработки, а также наличия в исследуемой области целиков и краевых частей. При этом для получения объективных результатов важным является правильный выбор метода расчета.

Разработка методов расчета опорного давления представляет значительные трудности в связи со сложностью постановки задачи. На первых этапах разработки методов расчета опорного давления авторами массив горных пород имитировался однородной изотропной упругой полуплоскостью с горизонтальной прямоугольной щелью на произвольной глубине.

В настоящее время алгоритмы и методики расчета параметров систем разработки в большинстве своем используют численные методы. Одним из них является метод конечных элементов, который позволяет выполнять оценку влияния на проявление горного давления структуры массива, физико-механические свойства пород, глубина разработки, мощности пласта (Buzilo, Savelieva, Saveliev, & Morozova, 2011).

Широкое применение находят современные натурные методы, например, геодезические методы контроля состояния массива, для установления закономерностей проявления горного давления (Nurpeisova, Saribaev, & Kurmanbaev, 2016). На основе шахтного эксперимента обоснованы границы допустимой подработки весьма сближенных пластов (Kolokolov & Lubenets, 2000).

Изучению поведения подработанных и надработанных пород в однородном и слоистом массивах посвящены теоретические исследования (Novikova, Zaslavskaya, & Nalivayko, 2001; Lin'kov, 1983) и экспериментальные Л.Н. Гапановича (Gapanovich, Gaydukov, & Lavrukhin, 1974). В ряде работ рассматриваются задачи геомеханики для подработанных и надра-

ботанных областей массива в связи с изучением подготовительной стадии динамических явлений (Perepelitsa, 2001; Nikolin, Podkopaev, Skoropud, & Savchenko, 1998).

Решения осуществляются на основе модели упругой среды с заданием граничных условий в напряжениях, получаемых путем натуральных измерений. Однако, из-за отсутствия соответствующих экспериментальных данных, ими, как и самим подходом к решению, невозможно воспользоваться при рассмотрении условий шахт Львовского региона.

Для достижения поставленной цели и решения сформулированных задач были выполнены теоретические, прикладные и экспериментальные исследования НДС неоднородного слоистого массива применительно к разработке свиты сближенных угольных пластов в сложных горно-геологических условиях.

Теоретические исследования включали анализ горно-геологических и горнотехнических условий, анализ существующих подходов к решению родственных задач, выбор метода определения и критерия оценки НДС исследуемой области массива, обоснование расчетных схем. Результатом теоретических исследований явился расчетный алгоритм, разработанный на основе метода граничных элементов.

В отличие от известных, разработанный алгоритм позволяет определять нагрузку на механизированную крепь при работе механизированных комплексов в зонах повышенного горного давления (ПГД) от целиков (краевых частей) смежных пластов в условиях подработки и надработки. При этом учитывается концентрация напряжений в области опорного давления впереди забоя и скорость подвигания лав.

## 2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Степень влияния надработки и подработки на НДС массива при выемке свиты пологих угольных пластов в условиях шахт ГП "Львовуголь" оценивалась по величинам максимальных коэффициентов концентрации  $K_\psi$  в кровле и почве разрабатываемого пласта в зонах влияния целиков и краевых частей сближенных пластов. Расчеты производились с помощью разработанного алгоритма на основе метода граничных элементов. Оценка устойчивости кровли и почвы разрабатываемых пластов выполнялась по следующему критерию (Novikova, Zaslavskaya, & Nalivayko, 2001), который имеет вид:

$$\sigma_{эке} = \frac{(1-\psi)(\sigma_1 - \sigma_3) + \sqrt{(1-\psi)^2(\sigma_1 + \sigma_3)^2 + 4\psi(\sigma_1^2 + \sigma_3^2)}}{2} \leq [\sigma], \quad (1)$$

где:

$\sigma_1$  и  $\sigma_3$  – наибольшее и наименьшее главные напряжения, МПа;

$$\psi = \sigma_p / \sigma_c;$$

$\sigma_p$  и  $\sigma_c$  – пределы прочности породы на растяжение и сжатие, МПа;

$[\sigma]$  – допустимое напряжение, определяемое как отношение среднего значения предела прочности на растяжение или сжатие к коэффициенту запаса прочности.

Были рассмотрены следующие расчетные схемы:

1) при движении лавы на краевую часть смежного пласта (по пласту  $n_7^6$  в условиях надработки и подработки);

2) при выходе лавы из зоны краевой части смежного пласта (по пласту  $n_7^6$  в условиях надработки и подработки);

3) оценка влияния целика (целик над очистным забоем, целик под очистным забоем).

Исследования проводили при следующих исходных данных: мощности  $m_1$ ,  $m_2$  и  $m_3$  пластов  $n_7^4$ ,  $n_7^6$  и  $n_8$  составляют соответственно 1.45, 0.65 и 1.50 м;

глубина залегания разрабатываемого пласта  $n_7^6$   $H = 520$  м; мощности междупластьев  $h_1 = 16$  м и  $h_2 = 13$  м; физико-механические характеристики угля и вмещающих пород брались по данным ВНИМИ (Katalog mekhanicheskikh svoystv..., 1972).

В первой и второй расчетных схемах размер краевой части пласта над (или под) очистным забоем по пласту  $n_7^6$   $b = 70$  м, зоны надработки и подработки имеют одинаковые размеры  $l_n = l_n = 150$  м. Длина выработанного пространства позади очистного забоя по пласту  $n_7^6$   $l$  составляла в расчетах значения 50, 100, 120, 140 и 150 м.

Расстояние  $L$  от очистного забоя до краевых частей смежных пластов при этом составляло 100, 50, 30, 10 и 0 м (забой под границей краевой части); -10, -30 и -50 м (забой под краевой частью пласта). Часть выработанного пространства ( $l - l_1$ ) заполнялась разрушенными породами. Параметр  $l_1$  представляет собой шаг обрушения непосредственной кровли, определяемый из условия:

$$(\Delta u_y)_{\max} \leq [\Delta u_y]. \quad (2)$$

В этом условии  $(\Delta u_y)_{\max}$  – максимальное сближение почвы и кровли очистной выработки, позади лавы, полученное расчетом, а  $[\Delta u_y]$  – допустимое значение  $\Delta u_y$ , назначаемое исходя из результатов шахтных наблюдений с учетом технических возможностей используемой механизированной крепи (возникающие в лаве смещения пород почвы и кровли не должны препятствовать нормальной работе очистного оборудования).

При расчетах по третьей схеме рассматривались пять различных положений линии очистного забоя по отношению к границам выше- и нижерасположенного целика: на подходе к нему ( $L = 30$  м), непосредственно под (над) границей ( $L = 0$ ), под (над) средним сечением целика ( $L = 25$  м), под (над) второй границей ( $L = 0$ ) и позади целика ( $L = 30$  м). Ширина целика  $l_y$  равнялась в расчетах 50 м, а размеры зон надработки  $l_n$  и подработки  $l_n$  по обе стороны от целика составляли 100 м.

Выполнение серии расчетов для различных положений забоя по пласту  $n_7^6$  позволило проследить за изменением картины НДС в исследуемой области массива по мере подвигания фронта очистных работ и установить границы зон ПГД, необходимые для обоснования параметров ведения очистных работ в рассматриваемых горно-геологических условиях.

Типичные эпюры нормальных напряжений  $\sigma_y$  и вертикальных смещений  $u_y$  в почве и кровле разрабатываемого пласта  $n_7^6$ , построенные по результатам одного из вариантов расчетов по первой схеме в случае  $L = 50$  м на подходе к краевой части (условия надработки), изображены на Рисунке 1а, б.

Анализ данных этого расчетного варианта показал, что зона повышенного горного давления (превышающего уровень  $\gamma H$ ) в кровле вынимаемого пласта  $n_7^6$  в горизонтальном направлении впереди очистного забоя простирается на 12 м. В вертикальном направлении она имеет протяженность 3.5 м в кровле и 5 м в почве. Породы кровли позади очистного забоя на участке  $l_1$  находятся в предельном напряженном состоянии, при этом нарушается условие прочности по критерию (1).

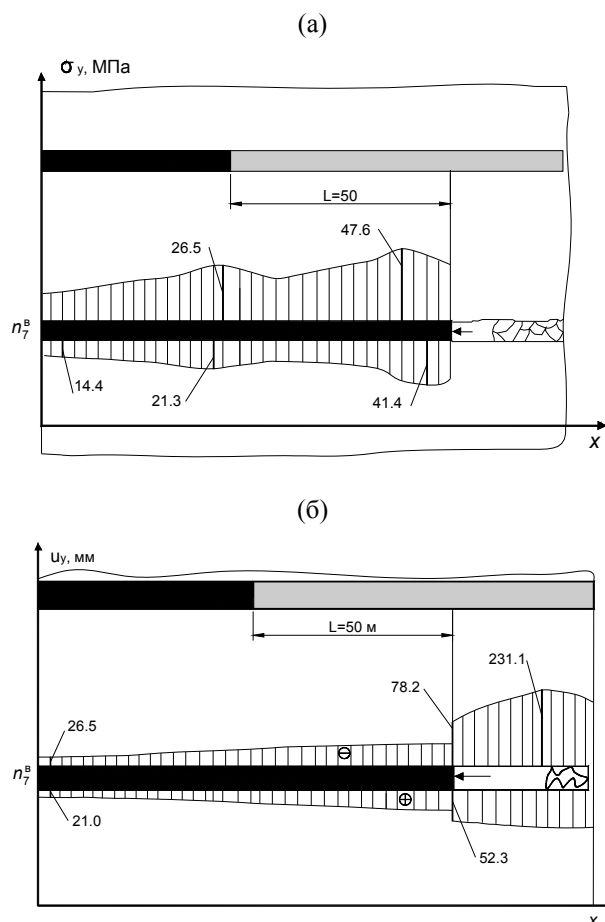


Рисунок 1. Эпюры нормальных напряжений (а) и вертикальных смещений (б) в кровле и почве пласта  $n_7^6$  (условия надработки)

В зоне повышенного горного давления впереди лавы максимум давления (напряжения  $\sigma_{yy}$ ) приходится на сечение, расположенное на расстоянии  $a = 1$  м по оси  $O_x$  от забоя, а в зоне повышенного горного давления позади лавы – на сечение, удаленное на 3 м по оси  $O_x$  от забоя. Нагрузка  $P_0$  на секцию механизированной крепи, создающаяся весом пород зоны предельного напряженного состояния на длине  $l_1$ , составляет 114.7 кН/м.

При подработке, когда забой находится на расстоянии  $L = 50$  м от края нижележащего пласта на подходе к этому краю, протяженность зоны повышенного горного давления составляет 14 м по оси  $O_x$  и распространяется вдоль оси  $O_y$  на 5 м в кровле (составляет 31.2% от  $h_2$ ) и на 5.5 м в почве (составляет 40.6% от  $h_1$ ). Нагрузка  $P_0$  на секцию механизированной крепи в этом случае равна 127.8 кН/м.

Данные всех вариантов расчетов по оценке влияния краевых частей сближенных пластов на напряженно-деформированное состояние кровли и почвы разрабатываемого пласта  $n_7^6$  в условиях надработки и подработки приведены в Таблицах 1, 2. Это максимальные значения коэффициента концентрации напряжений  $(K_y)_{\max}$  в зоне опорного давления впереди очистного забоя, максимальные сближения кровли и почвы в лаве и величины нагрузки  $P_0$ , которая действует на секцию механизированной крепи от веса пород, находящихся в зоне предельного напряженного состояния над лавой.

Таблица 1. Результаты анализа НДС кровли и почвы пласта  $n_7^6$  при движении лавы на краевые части

Положение очистного забоя	Расстояние от забоя до границ краевой части, $L$ , м	В условиях надработки			В условиях подработки		
		Коэффициент концентрации напряжений впереди забоя, $(K_y)_{\max}$	Конвергенция в лаве, $(u_y)_{\max}$ , мм	Нагрузка на секцию крепи, $P_0$ , кН/м	Коэффициент концентрации напряжений впереди забоя, $(K_y)_{\max}$	Конвергенция в лаве, $(u_y)_{\max}$ , мм	Нагрузка на секцию крепи, $P_0$ , кН/м
на подходе к краевой части	100	2.65	173.1	76.1	2.72	167.3	80.4
	50	3.40	231.5	114.7	3.26	253.3	127.8
	30	3.51	285.4	115.6	3.67	240.1	135.4
	10	3.59	251.3	123.6	3.85	248.8	141.0
	0	3.86	238.0	126.7	4.13	248.2	137.2
под (над) краевой частью	-10	4.23	237.0	137.7	4.33	245.5	111.4
	-30	4.35	246.6	135.0	4.35	240.9	81.3
	-50	4.33	244.7	126.0	4.34	247.0	76.1

Таблица 2. Результаты анализа НДС кровли и почвы пласта  $n_7^6$  при выходе лавы из-под краевых частей

Положение очистного забоя	Расстояние от забоя до границ краевой части, $L$ , м	В условиях надработки			В условиях подработки		
		Коэффициент концентрации напряжений впереди забоя, $(K_y)_{\max}$	Конвергенция в лаве, $(u_y)_{\max}$ , мм	Нагрузка на секцию крепи, $P_0$ , кН/м	Коэффициент концентрации напряжений впереди забоя, $(K_y)_{\max}$	Конвергенция в лаве, $(u_y)_{\max}$ , мм	Нагрузка на секцию крепи, $P_0$ , кН/м
под (над) краевой частью	30	2.35	120.0	85.5	2.35	120.1	84.1
	10	2.96	159.0	106.2	2.98	159.8	108.1
	0	3.56	197.9	136.3	3.60	199.8	103.2
при выходе из-под краевой части	-10	3.55	212.1	150.0	3.55	207.8	182.0
	-30	3.70	244.6	169.2	3.69	229.1	215.7
	-50	3.57	242.6	167.5	3.63	231.3	222.3

В Таблице 1 содержатся данные, относящиеся к случаю движения лавы по направлению к краевым частям, а в Таблице 2 – к случаю выхода очистного забоя из-под краевых частей. Анализ полученных результатов показал, что при движении в направлении к краевой части в условиях надработки максимальный коэффициент концентрации напряжений  $(K_y)_{\max}$ , равный 4.35, возникает на расстоянии  $L = -30$  м.

При этом нагрузка на механизированную крепь  $P_0$  составляет 135 кН/м. С другой стороны в положении при  $L = -10$  м максимум имеет нагрузка на крепь  $P_0 = 137.7$  кН/м, а коэффициент концентрации напряжений  $(K_y)_{\max}$  при этом составляет 4.23, т.е. меньше, чем в первом случае.

Качественно такая же картина наблюдается и в случае подработки с той лишь разницей, что сами величины коэффициентов концентрации напряжений  $(K_y)_{\max}$  и нагрузок  $P_0$  на крепь при подработке несколько больше. Наиболее опасными являются в этом случае положения при  $L = 10$  м и  $L = -10$  м. Поэтому при определении рациональных силовых параметров механизированной крепи необходимо рассмотреть все эти положения и выбрать наиболее опасные. В Таблице 1 соответствующие данные выделены синим цветом.

При движении лавы в противоположном направлении для крепи создаются наиболее неблагоприятные условия, причем, как и в предыдущих случаях, самые большие коэффициенты концентрации и нагрузки на механизированную крепь возникают в

условиях подработки при  $L = -30$  м и  $L = -50$  м, в Таблице 2 они выделены синим цветом. Именно на эти положения следует обратить внимание при определении рациональных параметров механизированной крепи, работающей в зонах влияния краевых частей смежных пластов. Результаты анализа НДС кровли и почвы обрабатываемого пласта  $n_7^6$  под (над) целиками приведены в Таблице 3.

Как видно из этой таблицы, наиболее неблагоприятными для механизированной крепи являются положения при  $L = 25$  м и  $L = 0$  м.

Результаты расчетов показали, что в условиях надработки в этих случаях протяженность зоны ПГД в горизонтальном направлении (по оси  $O_x$ ) впереди очистного забоя составляет 25 м. Вверх в вертикальном направлении (по оси  $O_y$ ) в кровле она простирается на 5.5 м, а вниз в почве на 3 м.

В предельном напряженном состоянии по критерию (1) находятся породы кровли впереди очистного забоя в области с размерами 2 – 4 м по оси  $O_x$  и 1.5 – 2 м по оси  $O_y$ . На расстоянии  $L = 25$  м весом разрушенных пород над лавой создается нагрузка на секцию механизированной крепи  $P_0 = 168.4$  кН/м, а при  $L = 0$  м –  $P_0 = 165$  кН/м.

При подработке (лава над целиком) установлена такая картина. Длина зоны повышенного горного давления (размер по оси  $O_x$ ) впереди очистного забоя составляет 35 м. В вертикальном направлении (по оси  $O_y$ ) в кровле протяженность ее 6 м, а в почве 3 м. Нагрузка на секцию механизированной крепи при  $L = 25$  м составляет 224.5 кН/м, а при  $L = 0$  –  $P_0 = 220.4$  кН/м.

Таблица 3. Результаты анализа НДС кровли и почвы пласта  $n_7^6$  под (над) целиками

Положение очистного забоя	Расстояние от забоя до границ краевой части, $L$ , м	В условиях надработки			В условиях подработки		
		Коэффициент концентрации напряжений впереди забоя, $(K_y)_{max}$	Конвергенция в лаве, $(u_y)_{max}$ , мм	Нагрузка на секцию крепи, $P_0$ , кН/м	Коэффициент концентрации напряжений впереди забоя, $(K_y)_{max}$	Конвергенция в лаве, $(u_y)_{max}$ , мм	Нагрузка на секцию крепи, $P_0$ , кН/м
на подходе к целику	30	2.81	195.9	72.4	2.88	190.2	108.6
	0	3.04	196.7	99.7	3.26	203.1	136.1
под (над) целиком	25	3.88	222.1	108.6	3.90	223.9	144.8
	0	4.35	277.2	106.4	4.34	268.5	142.0
за целиком	30	4.40	314.1	90.3	4.44	295.6	126.4

Расстояние  $a$  от очистного забоя в глубь массива до сечения, в котором возникает максимальная концентрация напряжений  $\sigma_y$ , т.е. протяженность зоны отжима краевой части угольного пласта, как и при работе лавы в окрестности краевых частей смежных пластов, во всех рассмотренных случаях близко к 1 м.

Таким образом, получены все необходимые величины для расчета рациональных силовых параметров механизированной крепи при работе ее в зонах повышенного и пониженного горного давления, а также для определения скорости подвигания лавы и допустимого расстояния между очистными забоями сближенных пластов.

В работе рассмотрен также вопрос о НДС пород вокруг подготовительной выработки при разработке свиты пластов. Важнейшими условиями безопасной работы угольных шахт является обеспечение рабочего состояния всей сети горных выработок от поверхности до очистных забоев с минимальными затратами на их проведение и поддержание. Актуальность обеспечения эксплуатационной устойчивости подготовительных выработок в условиях разработки сближенных пластов постоянно возрастает в связи с увеличением глубины ведения горных работ. При этом на характере распределения горного давления существенно сказываются надработка или подработка. Поэтому при выборе способа охраны и крепления выработок, особенно в случае слабых вмещающих пород, необходимо исходить из анализа НДС массива с учетом конкретных горно-технических ситуаций и горно-геологических условий.

Типичной для шахт Львовско-Волынского бассейна является слоистая неоднородная среда, в которой напряженное состояние кровли и почвы сближенных пластов претерпевает существенные изменения под воздействием горных работ. Однако имеющиеся отраслевые документы, регламентирующие расположение, охрану и поддержание горных выработок, составлены на основе указаний ВНИМИ (Указаниya po upravleniyu gornym davleniem..., 1984), в которых это изменение учитывается приближенно с помощью эмпирических коэффициентов, установленных преимущественно для горно-геологических условий Донецкого, Кузнецкого и Печорского месторождений. Аналогичный подход используется и при описании структуры породного массива.

Для получения количественных оценок в отношении влияния мощности междупластьев и глубины разработки расчеты выполнялись для ряда определяющих параметров. На Рисунке 2 приведена одна из рассмотренных расчетных схем.

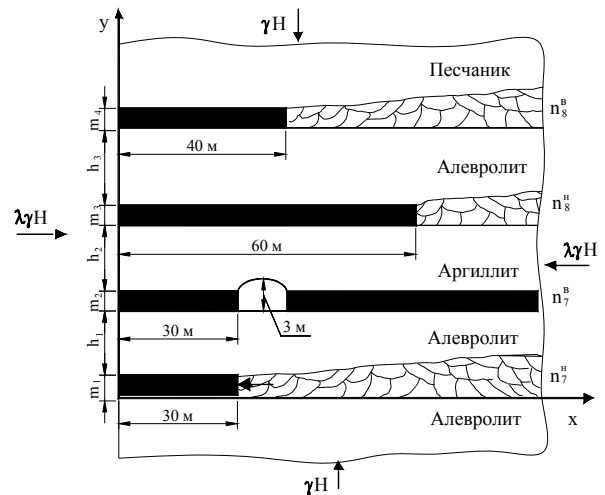


Рисунок 2. Расчетная схема к определению НДС вокруг выработки

Анализ полученных данных (Novikova, Buzlyo, & Nalivaiko, 2000) показал, что с уменьшением мощности междупластья степень роста напряжений в зоне опорного давления обрабатываемого пласта увеличивается. Так, максимальный коэффициент концентрации напряжений  $\sigma_y$  в кровле пласта в сечении  $x = 29$  м по отношению к уровню  $\gamma H$  составляет  $K_y = 1.51$  при  $h_2 = 6$  м и  $K_y = 1.46$  при  $h_2 = 20$  м.

В меньшей мере на коэффициенте концентрации  $K_y$  сказывается глубина разработки  $H$ : и при  $H = 300$  м и при  $H = 600$  м в сечении  $x = 29$  м в кровле обрабатываемого пласта  $K_y$  имеет одно и то же значение. В сводке подготовительной выработки на глубине  $H = 300$  м при  $h_2 = 6$  м коэффициент концентрации эквивалентного напряжения, подсчитанный по критерию (1), достигает значения 2.1 и остается таким же на глубине  $H = 600$  м. Абсолютное же значение максимального эквивалентного напряжения при глубине  $H = 500$  м становится равным пределу прочности породы на сжатие, а при  $H = 600$  м уже в 1.2 раза превосходит его. Рост напряжений в массиве, окружающем выработку, приводит к увеличению смещений на ее контуре. Выполненные исследования показали, что при увеличении глубины разработки с 300 до 600 м максимальные вертикальные смещения  $u_y$  в сводке возрастают в 2 раза. Не учет подобных изменений НДС вокруг подготовительных выработок, попадающих под влияние очистных работ по смежным пластам, при выборе крепи являются одной из причин деформирования подготовительных выработок.

### 3. ВЫВОДЫ

На основе метода граничных элементов разработан эффективный расчетный алгоритм для определения НДС неоднородного массива применительно к разработке свиты пологих сближенных угольных пластов. В отличие от известных, разработанный алгоритм учитывает наличие в исследуемой области целиков и краевых частей угольных пластов в условиях как надработки, так и подработки.

С помощью разработанного алгоритма для условий шахт ГП "Львовуголь" установлены границы зон повышенного горного давления в кровле и почве вынимаемого пласта, определены величины максимальных коэффициентов концентрации напряжений  $\sigma_y$  по отношению к уровню  $\gamma H$  и найдена нагрузка, действующая на секцию механизированной крепи от веса пород, находящихся в области предельного напряженного состояния в кровле над лавой.

В условиях шахт ГП "Львовуголь" при работе очистных забоев в зонах влияния краевых частей смежных пластов наиболее опасным, с точки зрения проявлений горного давления, является период выхода лавы из-под краевой части нижерасположенного пласта. В частности, механизированная крепь оказывается максимально нагруженной, когда забой находится на расстоянии 5 – 10 м от краевой части. Поэтому рациональные силовые параметры механизированной крепи должны определяться по характеристикам НДС именно этой области массива.

При ширине целиков, оставляемых на смежных пластах, до 50 м наиболее опасным для механизированной крепи является режим ее работы в условиях подработки, когда лава находится над средним сечением целика и на подходе к краю целика (на расстоянии  $L = 25$  м). Данные положения являются определяющими при расчете силовых параметров используемой механизированной крепи.

При увеличении глубины разработки с 300 до 600 м максимальные смещения  $u_y$  в своде подготовительной выработки в условиях подработки возрастают в 2 раза. Данный результат необходимо учитывать при выборе типа поддерживающей крепи.

### ABSTRACT (IN RUSSIAN)

**Цель.** Оценка степени влияния надработки и подработки пород на напряженно-деформированное состояние массива при выемке свиты пологих угольных пластов.

**Методика.** Проведен теоретический анализ горно-геологических и горнотехнических условий, анализ существующих подходов к решению родственных задач и на основе разработанного расчетного алгоритма методом граничных элементов, рассчитаны максимальные коэффициенты концентрации напряжений в кровле и почве разрабатываемого пласта в зонах влияния целиков и краевых частей сближенных пластов.

**Результаты.** Для условий шахт ГП "Львовуголь" установлены границы зон повышенного горного давления в кровле и почве вынимаемого пласта, определены величины максимальных коэффициентов концентрации напряжений и найдена нагрузка, действующая на секцию механизированной крепи от веса пород, находящихся в области предельного напряженного состояния в кровле над лавой. Установлено, что при работе очистных забоев в зонах влияния краевых частей смежных пластов наиболее опасным, с точки зрения проявлений горного давления, является период выхода лавы из-под краевой части нижерасположенного пласта.

**Научная новизна.** Проведен анализ напряженно-деформированного состояния слоистого неоднородного массива вокруг очистной выработки с учетом подработки и надработки. Установлены реальные значения силовых и геометрических параметров механизированной крепи, определена рациональная скорость подвигания очистного забоя в конкретных горно-геологических условиях.

### REFERENCES

- Gapanovich, L.N., Gaydukov, Yu.G., & Lavrukhin, V.N. (1974). Issledovanie zakonornostey proyavleniya gornogo davleniya v vyrabotannom prostranstve pri vyemke uglia slojami v Chelyabinskoy bassejne. *Ugol'*, (2), 13-18.
- Buzilo, V.I., Saveliya, T.S., Saveliev, V.A., & Morozova, T.I. (2011). Substantiation of Chamber Parameters under Combined Open-Cast and Underground Mining of Graphite Ore Deposits. *Technical and Geoinformational Systems in Mining*, 19-22. <https://doi.org/10.1201/b11586-5>
- Katalog mekhanicheskikh svoystv gornykh porod.* (1972). Moskva: VNIMI.
- Kolokolov, A.V., & Lubenets, N.A. (2000). O dopustimoy podrabotke ves'ma sblizhennykh plastov na shakhtakh Zapadnogo Donbassa. *Naukovyi Visnik NGA Ukrainy*, (4), 97-99.
- Lin'kov, A.M. (1983). Ploskie zadachi o staticheskom nagruzenii kusochnoodnorodnoy linejno-uprugoy sredy. *Prikladnaya Matematika i Mekhanika*, 47(4), 644-651.
- Nikolin, V.I., Podkopaev, S.V., Skoropud, M.P., & Savchenko, P.I. (1998). Novye predstavleniya (gipoteza) fizicheskoy sushchnosti effektivnosti pervoocherednoy razrabotki zashchitnykh plastov. *Izvestiya Donetskogo Gornogo Instituta*, 1(7), 43-44.
- Novikova, L.V., Buzilo, V.I., & Nalivayko, Ya.M. (2000). Otsenka stepeni vliyaniya ochistnykh rabot na podgotovitel'nye vyrabotki pri otrabotke sblizhennykh plastov. *Sbornik Nauchnykh Trudov NGA Ukrainy*, (10), 35-38.
- Novikova, L.V., Zaslavskaya, L.I., & Nalivayko, Ya.M. (2001). Proyavlenie gornogo davleniya pri nadrabotke i podrabotke plastovoy podgotovitel'noy vyrabotki. *Naukovyi Visnik NGA Ukrainy*, (4), 34-35.
- Novikova, L.V., Zaslavskaya, L.I., & Nalivayko, Ya.M. (2001). Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie massiva pri razrabotke svity plastov. *Heotekhnichna Mekhanika*, (25), 85-88.
- Nurpeisova, M.B., Saribaev, O.A., & Kurmanbaev, O.S. (2016). Issledovanie zakonornostey razvitiya geomekhanicheskikh protsessov pri kombinirovannom sposobe razrabotki mestorozhdeniy. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (4), 30-36.
- Perepelitsa, V.G. (2001). Upravlenie sostoyaniem gornogo davleniya pri shchitovoy otrabotke tonkikh krutykh ugol'nykh plastov. *Inzhenernye Metody Prodovrazhcheniya Gazodinamicheskikh Yavleniy pri Razrabotke Krutykh Vybrosopasnykh Ugol'nykh Plastov*, 186-288.
- Ukazaniya po upravleniyu gornym davleniem v ochistnykh zaboyakh pod (nad) tselikami i kraevymi chastyami pri razrabotke svity ugol'nykh plastov moshchnost'yu do 3.5 m s uglom padeniya do 35°.* (1984). Moskva: VNIMI.

**Практическая значимость.** В результате проведенных исследований получены необходимые данные для выбора типа поддерживающей крепи и определения рациональных силовых параметров механизированной крепи при работе ее в зонах повышенного и пониженного горного давления, а также для определения скорости подвигания лавы и допустимого расстояния между очистными забоями сближенных пластов для условий шахт Львовско-Волынского бассейна.

**Ключевые слова:** *напряженно-деформированное состояние, коэффициент концентрации напряжений, свита пластов, подработка, надработка, целик, краевые части*

## ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

**Мета.** Оцінка ступеня впливу надробки та підробки порід на напружено-деформований стан масиву при виїмці свити пологих вугільних пластів.

**Методика.** Проведено теоретичний аналіз гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов, аналіз існуючих підходів до вирішення споріднених задач та на основі розробленого розрахункового алгоритму методом граничних елементів розраховані максимальні коефіцієнти концентрації напружень у покрівлі та ґрунті пласта в зонах впливу ціликів і крайових частин зближених пластів.

**Результати.** Для умов шахт ГП "Львіввугілля" встановлено межі зон підвищеного гірського тиску в покрівлі та ґрунті пласта, що виймається, визначені величини максимальних коефіцієнтів концентрації напружень і знайдено навантаження, яке діє на секцію механізованого кріплення від ваги порід, що знаходяться в області граничного напруженого стану в покрівлі над лавою. Встановлено, що при роботі очисних забоїв в зонах впливу крайових частин суміжних пластів найбільш небезпечним, з точки зору проявів гірського тиску, є період виходу лави з-під крайової частини пласта, який розташовано нижче.

**Наукова новизна.** Проведено аналіз напружено-деформованого стану шаруватого неоднорідного масиву навколо очисної виробки з урахуванням підробки та надробки. Встановлено реальні значення силових і геометричних параметрів механізованого кріплення, визначена раціональна швидкість посування очисного забою у конкретних гірничо-геологічних умовах.

**Практична значимість.** В результаті проведених досліджень отримані необхідні дані для вибору типу підтримуючого кріплення й визначення раціональних силових параметрів механізованого кріплення при роботі його в зонах підвищеного та зниженого гірського тиску, а також для визначення швидкості посування лави і допустимої відстані між очисними забоями зближених пластів для умов шахт Львівсько-Волинського басейну.

**Ключові слова:** *напружено-деформований стан, коефіцієнт концентрації напружень, свита пластів, підробка, надробка, цілик, крайові частини*

## ARTICLE INFO

Received: 19 January 2017

Accepted: 28 February 2017

Available online: 30 March 2017

## ABOUT AUTHORS

Volodymyr Busylo, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Underground Mining Department, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 1/35, 49005, Dnipro, Ukraine. E-mail: [BuziloV@nmu.org.ua](mailto:BuziloV@nmu.org.ua)

Tamara Savelieva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Basic Design of Mechanisms and Machinery Department, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 1/125, 49005, Dnipro, Ukraine. E-mail: [savelievats@gmail.com](mailto:savelievats@gmail.com)

Volodymyr Serdyuk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Underground Mining Department, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 4/58, 49005, Dnipro, Ukraine. E-mail: [serdyuk@gmail.com](mailto:serdyuk@gmail.com)

Volodymyr Saveliev, Senior Lecturer of the Software Engineering Department, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 3/25, 49005, Dnipro, Ukraine. E-mail: [savelyevva@gmail.com](mailto:savelyevva@gmail.com)

Yurii Demchenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Underground Mining Department, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 4/62, 49005, Dnipro, Ukraine. E-mail: [dem.yu@nmu.org.ua](mailto:dem.yu@nmu.org.ua)