

**ГЕОМЕХАНИКА, РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД, РУДНИЧНАЯ
АЭРОГАЗОДИНАМИКА И ГОРНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА
GEOMECHANICS, DESTRUCTION OF ROCKS BY EXPLOSION,
MINE AEROGASDYNAMICS AND MINING THERMOPHYSICS**

Научная статья

УДК 622.83.241.54

DOI: 10.26730/1999-4125-2022-2-51-63

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
ГОРНЫХ ПОРОД ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ ПРИ НАДРАБОТКЕ И
ПОДРАБОТКЕ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА**

Калинин Степан Илларионович,¹
Роут Геннадий Николаевич,¹
Игнатов Юрий Михайлович,¹
Гагарин Андрей Анатольевич,²
Разумов Евгений Анатольевич³

¹ Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,

² АО СУЭК-Кузбасс

³ СФ ОАО «ВНИМИ»

*для корреспонденции: niutk@yandex.ru



Информация о статье

Поступила:

25 ноября 2022 г.

Одобрена после
рецензирования:

30 марта 2022 г.

Принята к публикации:

29 апреля 2022 г.

Ключевые слова:

Свита пластов, опережающая
надработка, подработка
пласта, зоны опорного
давления, рациональный
порядок

Аннотация.

В статье приведены результаты исследовательских работ по оценке горно-геологических условий, определению зон влияния надработки и подработки, определению расчетных деформаций пород для разработки рекомендаций по безаварийной отработке запасов в условиях шахты им. А.Д. Рубана. Рассмотрен комбинированный способ управления геомеханическими процессами, включающий процессы предварительной надработки мощного пологого пласта и последующей подработки данного пласта нижележащим пластом. Работа выполнена по специально разработанной методике, предусматривающей теоретические методы исследования параметров надработки и подработки угольного пласта и непосредственные исследования геомеханических процессов в шахтных условиях. По существующей нормативно-технической документации произведен расчет деформационных процессов, определяются расчетные деформации сжатия и разгрузки пород, определяются параметры зон опорного давления и др.

Для цитирования: Калинин С.И., Роут Г.Н., Игнатов Ю.М., Гагарин А.А., Разумов Е.А. Исследование напряженно-деформированного состояния горных пород очистного забоя при надработке и подработке угольного пласта// Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2022. № 2 (150). С. 51-63. doi: 10.26730/1999-4125-2022-2-51-63

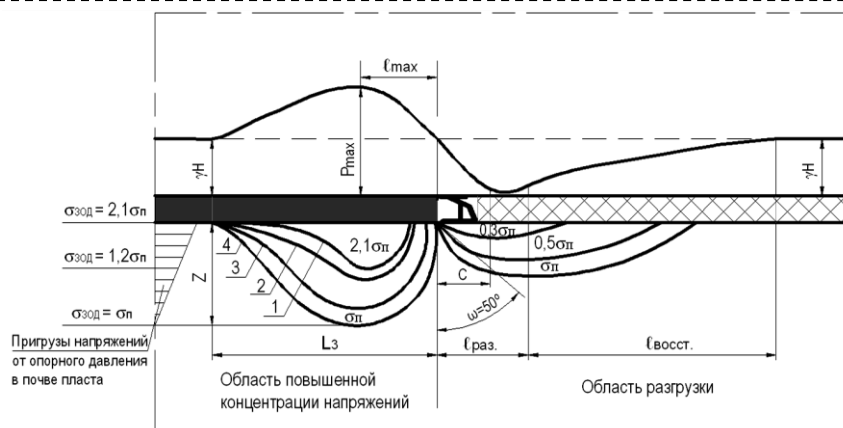


Рис. 1. Схема изменения напряжений в почве пласта в зоне опорного давления
 Fig. 1. Diagram of stress changes in the reservoir soil in the reference pressure zone

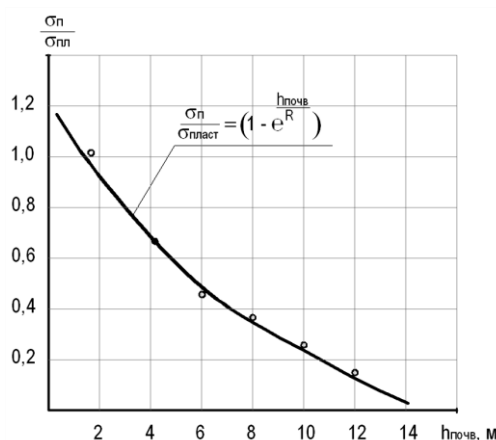


Рис. 2. Изменение концентрации напряжений в междупластье при надработке
 Fig. 2. Change in stress concentration in the interplane during overworking

Цель исследования заключается в оценке характеристики вмещающих пород при их надработке и подработке, в определении зон формирования напряжений в подрабатываемом и надрабатываемом массиве, в оценке совместного влияния надработки и подработки на деформацию угленосных массивов и их устойчивость, обоснование рационального порядка отработки свиты пластов.

Методика исследования включает оценку сближенности пластов в свите, оценивается влияние опережающей надработки на геомеханическое состояние пород между угольными пластами, выполняется оценка влияния последующей подработки пласта «Надбайкаимский» пластом «Байкаимским».

При выполнении работы были использованы действующие нормативно-методические материалы [1-3]. Пласт «Надбайкаимский» сначала был надработан пластом «Полысаевский-II», затем подработан пластом «Байкаимский» и после этого был принят к отработке. Оценка горно-геологических условий залегания пластов в свите показала, что пласты характеризуются неустойчивой до средней устойчивости непосредственной кровлей, средней тяжести и тяжелой по нагрузочным свойствам основной кровлей и трудноуправляемой активной кровлей по способу управления [4,5].

Расчетами было установлено, что пласты «Полысаевский-II» и «Надбайкаимский» относятся по сближенности к категории сближенных неподрабатываемых и пласты «Надбайкаимский» и «Байкаимский» также относятся к категории сближенных неподрабатываемых.

Оценка влияния надработки пласта «Надбайкаимский» пластом «Полысаевский-II»

Оценка влияния опережающей надработки пласта «Надбайкаимский» производилась с использованием коэффициента снижения прочности пород ($K_{пр}$) в надработанном массиве, величина которого определялась по формуле

$$K_{пр} = \frac{R_{o(сж)}}{R_{н(сж)}},$$

где $R_{o(сж)}$ «сопротивление пород кровли сжатию, МПа; $R_{н(сж)}$ «сопротивление пород кровли пласта сжатию после его надработки, МПа.

Данный коэффициент был принят за основной критерий оценки использования опережающей надработки. Анализ опыта применения надработки пластов с тяжелыми трудноуправляемыми кровлями показывает, что надработка не всегда дает положительные результаты. В отдельных случаях она осложняет геомеханические процессы в надработанных пластах [6, 7].

Обобщенная схема деформационных процессов в надрабатываемых породах пласта «Надбайкаимский» при ведении горных работ по пласту «Полысаевский-II» приведена на рис. 1.

Видно, что в почве пласта так же, как и в кровле пласта, формируется зона опорного давления с глубиной распространения в почву пласта (Z), шириной опорного давления в почве пласта (L_3). Зона разгрузки пород равна ширине очистного забоя (C). Далее по длине забоя формируется зона восстановления напряжений ($l_{восст}$). Восстановление напряжений в почве и кровле пласта происходит одновременно. На схеме указана длина участка разгрузки в почве пласта ($l_{раз}$), напряжение в почве пласта ($\sigma_{п}$), угол сдвига пород в почве пласта (ω), град.

В породах почвы пласта «Полысаевский-II» в зоне опорного давления происходит процесс сжатия пород за счет действия опорного давления. К геостатическим напряжениям добавляется напряжение от опорного давления, происходит опускание пород кровли и пород почвы пласта «Полысаевский-II». Зона сжатия и опускания пород определяется шириной зоны опорного давления. Напряжения в породах почвы формируются вблизи надрабатывающего пласта в его непосредственной почве. Величина напряжений достигает значений

$$\sigma_{max} = (2-2,2) \cdot \sigma_{п}$$

С удалением от пласта напряжения в почве снижаются, на удалении 10-16м они становятся равными напряжению на уровне пласта до надработки. Напряжения от действия опорного давления быстро затухают в почве пласта.

Максимум зоны опорного давления удален от линии очистного забоя на расстояние, определяемое по формуле

$$L_{max} = (0,12-0,14) \cdot L_3,$$

Деформацию сжатия пород почвы ($\epsilon_{сж}$) в зоне опорного давления при исследованиях определяли по формуле

$$\epsilon_{сж} = A \cdot \left(\frac{L_{л}}{h}\right) + \left(\frac{\gamma H}{\sigma_{сж}}\right)^B + m_B^c, \quad (1)$$

где $L_{л}$ – длина лавы, м; h – мощность пород междупластья, м; H – глубина ведения горных работ, м; γ – объемный вес пород междупластья, т/м³; $\sigma_{сж}$ – прочность пород на сжатие непосредственной и основной почвы надрабатывающего пласта, МПа; m_B – мощность надрабатывающего пласта, м; ($A = 0,12$, $B = 0,62$, $c = 0,105$) – постоянные безразмерные коэффициенты с принятыми значениями.

Расчеты по зависимости (1) показывают, что деформации сжатия пород в почве пласта в зоне опорного давления достигают предельных значений, но быстро затухают с удалением от

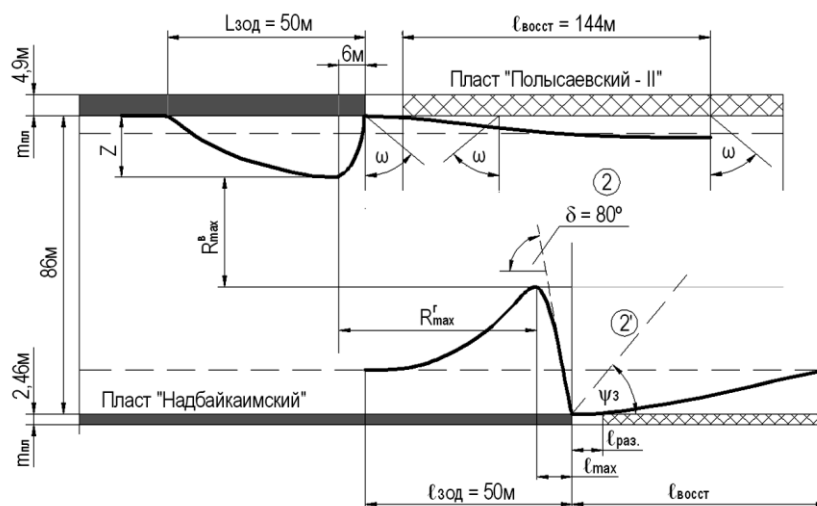


Рис. 3. Схема взаимного расположения зон опорного давления от целика и от лавы 12-10
Fig. 3. Diagram of the relative location of the reference pressure zones from the block and from the lava 12-10

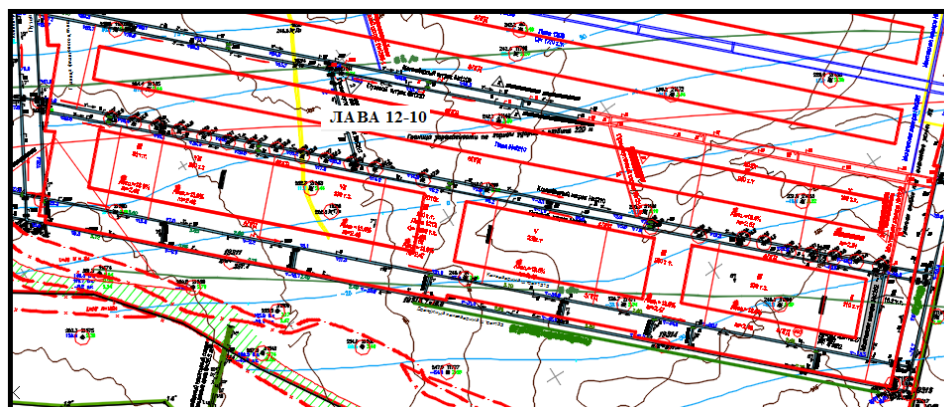


Рис. 4. Схема расположения границ ЗПГД в лаве 12-10 от целиков, на пласте «Байкаимский»
Fig. 4. The layout of the LNG boundaries in lava 12-10 from the block, on the «Baikaimsky» formation

почвы пласта. На расстоянии от почвы 10-12м деформации сжатия пород резко снижаются, на расстоянии 15-20м – затухают. Напряжения в почве пласта с удалением от пласта снижаются по экспоненциальной зависимости

$$\sigma_{\text{п}} = \sigma_{\text{пл}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{h_{\text{поч}}}{K}}\right), \quad (2)$$

где $\sigma_{\text{пл}}$ – напряжение в пласте вне зоны влияния очистных работ; K – постоянный коэффициент для пород с $\sigma_{\text{сж}} = 90-120\text{МПа}$ принимается равным 10-10,5; $h_{\text{поч}}$ – глубина удаления от подошвы пласта в почву, м.

На рис. 2 приведен график снижения напряжений в породах почвы пласта «Польсаевский-II» с удалением от подошвы пласта

На расстоянии от пласта 12-14м дополнительные напряжения от опорного давления не наблюдаются. Оценка возможности применения опережающей наработки пласта «Надбайкаимский» пластом «Польсаевский-II» показывает, что наработка не вызывает геомеханических осложнений в период отработки пласта «Надбайкаимский». Деформации сжатия пород в почве пласта «Польсаевский-II» в зоне опорного давления, рассчитанные по формуле (2), не превышают 3 мм. Глубина распространения напряжений в зоне максимума опорного давления вглубь породного массива по формуле (4) не превышает 20 м и значительно

меньше мощности междупластья. Существенную роль в формировании глубины влияния надработки в породах почвы пласта оказывают оставленные целики.

Было установлено, что глубина напряжений в породах почвы под оставленным целиком определяется шириной целика. Начиная с некоторой ширины целика при дальнейшем ее уменьшении происходит уменьшение глубины затухания деформаций. Величина деформаций пород в почве при надработке пластов должна быть меньше мощности междупластья. Оценку влияния оставленных целиков угля и краевых частей пластов на надрабатываемом пласте на отработку надработанного пласта целесообразно осуществлять по параметрам взаимного расположения зон опорного давления от краевой части пласта или целика надрабатываемого пласта и от очистного забоя надработанного пласта. Условием безопасного применения опережающей надработки является отсутствие наложения максимумов опорного давления от краевой части или целика надрабатываемого пласта и очистного забоя надработанного пласта.

На рис. 3 приведена схема взаимного расположения зон опорного давления от краевой части охранного целика у уклона пласта «Полысаевский-II» и от лавы 12-10 пласта «Надбайкаимский». Лава 12-10 длиной 300 м, длина выемочного столба 2160 м, вынимаемая мощность пласта 2,46 м, угол падения пласта по штреку 2-4°, по лаве 6-8°, глубина залегания лавы от земной поверхности у конвейерного штрека – 202,5 м, у путевого штрека – 168,5 м. Ширина междулавных целиков по пласту «Полысаевский-II» – 22-25 м, по пласту «Байкаимский» – 30 м.

Мощность между пластами «Надбайкаимский»-«Полысаевский-II» – 86 м, между пластами «Надбайкаимский» и «Байкаимский» – 80 м. Ширина охранных целиков у наклонных выработок по пласту «Надбайкаимский» у путевого штрека – 70 м, у конвейерного штрека – 35 м, по центру лавы – 52,5 м, задний целик у монтажной камеры – 45 м.

Обозначение параметров (Z , $\ell_{\text{восст}}$, $\ell_{\text{раз}}$) принято по аналогии со схемой на рисунке 1; ω – угол влияния надработки в почве пласта «Полысаевский-II»; ψ^3 – угол полных сдвижений по простиранию в зоне влияния лавы; δ – угол сдвижений по простиранию в зоне влияния подработки лавой; ℓ_{max} – удаление максимума опорного давления от кромки забоя, м.

Параметры зоны опорного давления, такие как ширина зоны опорного давления, ($L_{\text{зод}}$), м, расстояние между положениями максимумов опорного давления в породах междупластья от надработки и подработки (R_{max}^B), м, расстояние между максимумами опорного давления в горизонтальной плоскости от надработки и подработки, (R_{max}^r), м, определены по плану. Ширина зон повышенного горного давления от целиков, оставленных на пласте «Полысаевский-II», составляет у монтажной камеры по всей длине лавы 12-10 около 22 м, у демонтажной камеры (перед границей остановки лав 12-10) – 66 м. По длине выемочного столба 12-10 зоны повышенного горного давления будут формироваться около путевого и конвейерного штреков.

Исследование подработки пласта «Надбайкаимский» пластом «Байкаимский»

Пласты «Надбайкаимский» и «Байкаимский» по сближенности относятся к категории сближенных неподрабатываемых, как при нисходящем порядке отработки, так и при восходящем порядке. При отработке пластов в восходящем порядке безопасная высота подработки должна составлять 12 вынимаемых мощностей – 34,1 м при фактической мощности междупластья 80 м. Опасные ситуации по проявлению горного давления могут появляться только в зоне влияния остаточного опорного давления, в зонах оставляемых целиков угля и краевых частей пласта.

Граница ЗПГД от межлавных целиков пласта «Байкаимский» располагается от конвейерного штрека 12-10 в 80 м по восстанию пласта, в 50 м от путевого штрека по падению пласта. Длина ЗПГД составляет 2080 м. Лава 12-10 будет работать в данной зоне ПГД на ширине 80 м от конвейерного штрека 12-10 по восстанию пласта и на ширине 50-51 м от путевого штрека – по падению пласта. Зона ПГД по пласту «Надбайкаимский» приведена на рис. 4.

Установлено, что пласт «Надбайкаимский» попадает в зону влияния краевой части охранный уклонный целика пласта «Байкаимский», которая перекрывает пласт «Надбайкаимский». Подработка пласта «Надбайкаимский» пластом «Байкаимский» в районе формирования демонтажных камер 12-10, 12-12 рассматривается как случай наезда очистного забоя на «краевую часть» подрабатываемого пласта [3].

Согласно [3, 5] при отработке свит пологих угольных пластов с полным обрушением кровли проведение разрезных печей под демонтажные, монтажные камеры требуется осуществлять с учетом их подработок смежными пластами. Проведенными исследованиями в условиях шахт Кузбасса подтверждено, что особо опасными являются случаи выхода или входа под перпендикулярные краевые части пластов или широких угольных целиков.

Оценка состояния демонтажной камеры пласта «Надбайкаимский» при подработке пластом «Байкаимский» производилась в районе расположения демонтажных камер №12-12, №12-10. Демонтажные камеры пластов «Надбайкаимский» и «Байкаимский» располагаются в створе. Опорное давление, сконцентрированное у краевой части пласта «Байкаимский», оказывает значительное влияние на формирование дополнительных напряжений в породах междупластья. Основным критерием степени опасности проявления горного давления в данной ситуации является характер проявления горного давления.

Построение зон влияния краевой части пласта «Байкаимский» выполнено при следующих исходных данных: мощность пласта «Байкаимский» – 2,84 м; глубина расположения от дневной поверхности в зоне формирования демонтажных камер – 250 м; ширина зоны опорного давления – 45 м. Демонтажные камеры пласта «Надбайкаимский» находятся в зоне повышенной опасности (ЗПО) при его подработке пластом «Байкаимский» и расположении монтажных камер над краевой частью пласта «Байкаимский». Высота зоны повышенной опасности (ЗПО) составляет 100 м и превышает междупластье пластов «Байкаимский» и «Надбайкаимский», высота опасной зоны (ОЗ) составляет 135 м, полностью захватывает пласт «Надбайкаимский» с его активной кровлей.

Проведенными исследованиями подтверждено, что процесс деформации пород при их подработке изменяется с удалением от пласта, подчиняясь экспоненциальному закону. С удалением от поверхности подрабатывающего пласта вертикальные и горизонтальные деформации затухают, причем горизонтальные деформации затухают быстрее вертикальных. Деформации более прочных пород происходят интенсивнее. Для описания процесса деформации пород при их подработке предложены экспериментальные зависимости для вертикальных и горизонтальных деформаций.

Оседание подрабатываемого углепородного массива определяем согласно [8], используя зависимость

$$\eta_{(c,y)} = m_b \cdot e^{-ky}, \quad (3)$$

где m_b – вынимаемая мощность подрабатывающего пласта, м; K – коэффициент, зависит от физико-механических свойств пород подрабатываемого массива, был принят равным 0,022; y – расстояние рассматриваемого слоя пород от поверхности подрабатывающего пласта, м.

Вертикальные деформации пород при их подработке определяем по следующей формуле

$$\varepsilon_b = K_1 \cdot m_b \cdot e^{-ky}, \quad (4)$$

где: ε_b – вертикальные деформации пород, в мм/м.

Горизонтальные деформации подрабатываемых пород на удалении от подрабатывающего пласта – «у» определяются по формуле

$$\varepsilon_r = \frac{\eta_{(y)}^2}{y^2 \cdot (ctg\Psi_3 - ctg\delta)^2}, \quad (5)$$

где ε_r – фактические горизонтальные деформации подрабатываемых пород на удалении от подрабатывающего пласта, мм/м.

Горизонтальные и вертикальные деформации пород по характеру могут быть как сжимающими, так и растягивающими. Рассчитанные по формулам (3), (4), (5) деформации пород в зоне подработки сравниваются с допустимыми деформациями пород.

Установлено, что вертикальные деформации пород распространяются от подрабатывающего пласта на значительные расстояния в зависимости от мощности

подрабатывающего пласта, скорости подработки, физико-механических характеристик подрабатываемых пород.

Горизонтальные деформации с удалением от подрабатывающего пласта быстро затухают. Сравнение рассчитанных деформаций пород при их подработке производится с допустимыми деформациями, которые определяются по основным физико-механическим характеристикам вмещающих пород. Допустимые деформации определяем по следующим формулам:

$$[\varepsilon_{сж}] = \frac{[\sigma_{сж}] \cdot \xi}{E_{д(сж)}}, \quad (6)$$

где $[\varepsilon_{сж}]$ – деформации пород при сжатии; $[\sigma_{сж}]$ – допустимое сопротивление пород при сжатии, МПа; $E_{д(сж)}$ – модуль деформации пород при сжатии, т/м²; ξ – коэффициент, учитывающий значения модуля упругости пород, принимается равным 1,5.

$$E_{д(сж)} = \frac{E_0}{1,6},$$

где E_0 – модуль упругости пород при сжатии т/м².

Деформации пород при растяжении определяются по формуле

$$[\varepsilon_p] = \frac{[\sigma_p] \cdot \xi}{E_{д(p)}}, \quad (7)$$

где $[\sigma_p]$ – допустимое сопротивление пород на растяжение, МПа; $E_{д(p)}$ – модуль деформации пород при растяжении, т/м².

$$E_{д(p)} = \frac{E_{д(сж)}}{(1,2-1,5)}.$$

Результаты расчетов приведены в таблице.

Таблица. Деформационные характеристики пород основной кровли пластов
Table. Deformation characteristics of the rocks of the main roof layers

Пласт	[$\sigma_{сж}$], МПа	[σ_p], МПа	E_0 , МПа	$E_{д(сж)}$, МПа	$E_{д(p)}$, МПа	Допустимые деформации	
						$\varepsilon_{сж}$, мм/м	$\varepsilon_{раст}$, мм/м
«Байкаимский»	60	7,4	$1,2 \cdot 10^4$	$0,67 \cdot 10^4$	$0,44 \cdot 10^4$	12,6	1,0
«Надбайкаимский»	40	4	$0,8 \cdot 10^4$	$0,5 \cdot 10^4$	$0,33 \cdot 10^4$	12	1,8

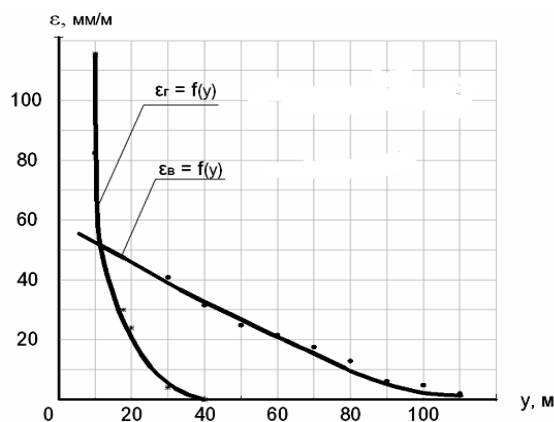


Рис. 5. График вертикальных и горизонтальных деформаций в междупластье, мм / м
Fig. 5. Graph of vertical and horizontal deformations in the interlayer, mm / m

Оседание подрабатываемых пород было рассмотрено в направлении от поверхности пласта «Байкаимский» на всю мощность междупластья до пласта «Надбайкаимский». Расчеты деформаций в подрабатываемых породах были выполнены по вышеприведенным формулам, результаты расчетов представлены графиками на рис. 5.

Из представленных графиков видно, что с удалением от поверхности подрабатывающего пласта деформация пород в подрабатываемом междупластье снижается, особенно резко затухают горизонтальные деформации. На расстоянии подрабатывающего пласта 40 м горизонтальные деформации не наблюдаются. Деформации прочных пород происходят более интенсивно.

Вертикальные деформации с удалением от поверхности подрабатывающего пласта распространяются на значительную высоту. С удалением от подрабатывающего пласта деформации плавно затухают, в рассматриваемом случае деформации распространяются на всю высоту междупластья, но на удалении от поверхности подрабатывающего пласта 60-65 м их проявление незначительное, влияние ослабленное.

Опережающая подработка пласта «Надбайкаимский» пластом «Байкаимский» является возможной, так как не вызывает опасных деформаций в породах почвы и кровли пласта «Надбайкаимский». Установлено, что опасное влияние при подработке пласта «Надбайкаимский» пластом «Байкаимский» оказывают оставленные целики угля и краевые части на подрабатываемом пласте. Оработка пласта «Надбайкаимский» в лавах 12-10, 12-12 показала, что повышенное горное давление, возникающее в зоне расположения охранных целиков и краевых частей, значительно увеличивает опасность применения опережающей подработки пластов.

При отработке пласта «Надбайкаимский», предварительно надработанного пластом «Полысаевский-II» и затем подработанного пластом «Байкаимский», было установлено значительное проявление остаточного опорного давления от краевых частей уклонных целиков пластов – (зоны ППГД). Для определения параметров зон ППГД были уточнены и использованы рекомендации, изложенные в работах [9, 10].

Выполненные расчеты показали следующее:

- зона влияния уклонного целика пласта «Полысаевский-II» не оказывает вредного влияния на отработку пласта «Надбайкаимский»;
- пласт «Надбайкаимский» попадает в зону опасного влияния краевой части уклонного целика пласта «Байкаимский».

Принятая опережающая подработка пласта «Надбайкаимский» пластом «Байкаимский» оценивается положительно. Однако для лав 12-10, 12-12 пласта «Надбайкаимский» установлено наличие опасного давления от уклонного целика пласта «Байкаимский» [11, 12].

Опасные геомеханические ситуации возникают, когда происходит совмещение максимумов зон опорного давления от очистного забоя надработанного пласта с зонами остаточного давления от краевых частей пласта и целиков угля, оставляемых на надрабатываемом пласте. Рекомендуется в таких ситуациях при снижении расстояния $R_{\max}^1 < L_{\text{зод}}$ (рис.3), принимать дополнительные меры по управлению горным давлением. Необходимо выполнять оценку геодинамической составляющей с использованием геофизических методов исследования зон ПГД [13-15].

ВЫВОДЫ

1. Результаты исследований показали, что принятый порядок отработки свиты пологих пластов «Полысаевский-II» – «Надбайкаимский» – «Байкаимский» является наиболее рациональным в рассматриваемых горно-геологических условиях.

2. Оценка влияния надработки пласта «Надбайкаимский» пластом «Полысаевский-II» производилась путем определения напряжений в почве пласта в зоне опорного давления. Установлено, что напряжения в породах почвы надрабатывающего пласта формируются в пределах зоны опорного давления, с удалением от подошвы пласта вглубь массива напряжения в породах почвы резко снижаются по экспоненциальному закону.

3. Установлено опасное влияние оставленных целиков угля и краевых частей пласта на надрабатываемом пласте на формирование зон проявления повышенного горного давления на надрабатываемый пласт.

4. Установлено, что при подработке пород процесс их деформации изменяется с удалением от подрабатываемого пласта по экспоненциальной зависимости. С удалением от поверхности подрабатываемого пласта горизонтальные деформации затухают быстрее вертикальных.

5. Для описания процесса деформации пород при их подработке предложены экспериментальные зависимости: оседание пород, вертикальные деформации и горизонтальные деформации определяются по формулам (3), (4), (5) и сравниваются с допустимыми деформациями (6), (7).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по геологическим работам на угольных месторождениях Российской Федерации. Санкт-Петербург : ВНИМИ, 1993. 147с.
2. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. Санкт-Петербург : ВНИМИ, 1998. 291 с.
3. Указания по управлению горным давлением в очистных забоях под (над) целиками и краевыми частями при разработке свиты угольных пластов мощностью до 3,5м с углом падения до 35°. Л. : ВНИМИ, 1984. 62с.
4. Временные указания по управлению горным давлением в очистных забоях на пластах мощностью до 3,5м с углом падения до 35°. Л. : ВНИМИ, 1982. 136с.
5. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах. М.: «Горное дело» ООО «Киммерийский центр». 2011. 216с.
6. Борисов А. А. Механика горных пород и массивов. М. : Недра, 1980. 360с.
7. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию подготовительных выработок на угольных шахтах СССР. Ленинград : ВНИМИ, 1986. 222с.
8. Калинин С. И., Лютенко А. Ф., Егоров П. В., Дьяконов С. Г. Управление горным давлением при разработке пологих пластов с труднообрушаемой кровлей на шахтах Кузбасса. Кемерово : Кузбассвуиздат, Кемеровское кн. изд-во, 1991. 248с.
9. Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах (Зарегистрировано в Минюсте России 19.02.2014г №31354).
10. Предупреждение газодинамических явлений на угольных шахтах. / Сборник документов. М : Научно-технический центр по безопасности в промышленности. Госгортехнадзор России, 2000. 320с.
11. Рекомендации №15 от 10.11.2016 г. по исследованию напряженно-деформированного состояния вмещающих пород пласта «Надбайкаимский» при его надработке и подработке в условиях шахты им. А.Д. Рубана ОАО «СУЭК-Кузбасс» и определению возможности безопасной и эффективной его последующей отработки. Прокопьевск НИ ПКП, «Угольные технологии Кузбасса», 2016. 115с.
12. Научное сопровождение отработки запасов выемочного столба 66-09 Шахта «Талдинская-Западная-1», ШУ «Талдинское-Западное» АО «СУЭК-Кузбасс» / Отчет по научно-исследовательской работе. Прокопьевск : НИ ПКП, «УТК», 2018. 159с.
13. Ignatov Yu., Tailakov O., Saltymakov E., Gorodilov D. Development of an electrical exploration data post processor e3s // Web of Conferences. VI th International Innovative Mining Symposium. 2021. С. 03027.
14. Batugin A., Kolikov K., Ivannikov A., Ignatov Yu., Krasnoshtanov D. Transformation of the geodynamic hazard manifestation forms in mining areas // 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019. Conf. proceedings. 2019. P. 717-724.
15. Batugin A., Myaskov A., Ignatov Yu. ETC. Re-using of data on rockbursts for up-to-date research of the geodynamic safety problem // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2018; 221(1). doi:10.1088/1755-1315/221/1/012089.

© 2022 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Калинин Степан Илларионович, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), доктор техн. наук, niutk@yandex.ru

Роут Геннадий Николаевич, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), кандидат техн. наук, доцент.
rgn23.12.47@gmail.com

Игнатов Юрий Михайлович, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), кандидат техн. наук, доцент, mnos@mail.ru

Гагарин Андрей Анатольевич, главный маркшейдер, АО СУЭК-Кузбасс (Кемеровская область, г. Ленинск-Кузнецкий, ул. Васильева, 1), gagarina@suek.ru

Разумов Евгений Анатольевич, директор (653004, Кемеровская область, г. Прокопьевск, пр-т Гагарина, д. 24.), СФ АО ВНИМИ. vnimi@inbox.ru

Заявленный вклад авторов:

Калинин С.И. - постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы; выводы; написание текста.

Роут Г.Н. - постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы; выводы; написание текста.

Игнатов Ю.М. - постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы; выводы; написание текста.

Гагарин А.А. - постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы; выводы; написание текста.

Разумов Е.А. - постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы; выводы; написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article**INVESTIGATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE ROCKS OF THE TREATMENT FACE DURING OVERWORKING AND PART-TIME WORK OF THE COAL SEAM**

Stepan I. Kalinin¹
Gennady N. Route¹
Yuri M. Ignatov¹
Andrei A. Gagarin²
Evgeny A. Razumov³

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

² SUEK-Kuzbass

³ SF JSC «VNIMI»

*for correspondence: niutk@yandex.ru

**Article info**

Submitted:

25 January 2022

Approved after reviewing:

30 March 2022

Accepted for publication:

29 April 2022

Keywords: Formation of layers, advanced operating time, part-time of layers, reference pressure zones, rational order.

Abstract.

The article presents the results of research work on the assessment of mining and geological conditions, determination of zones of influence of overworking and underworking, determination of calculated deformations of rocks for the development of recommendations for trouble-free mining of passes in the conditions of the mine named after A.D. Ruban. A combined method for controlling geomechanical processes is considered, including the processes of preliminary development of a powerful shallow reservoir and subsequent development of this reservoir by an underlying reservoir.

The work was carried out according to a specially developed methodology, which provides theoretical methods for studying the parameters of overworking and underworking of the coal seam and direct studies of geomechanical processes in mine conditions. According to the existing normative and technical documentation, the deformation processes are calculated, the calculated deformations of compression and unloading of rocks are determined, the parameters of the reference pressure zones are determined, etc.

For citation: Kalinin S.I., Route G.N., Ignatov Yu.M., Gagarin A.A., Razumov E.A. Investigation of the stress-strain state of the rocks of the treatment face during overworking and part-time work of the coal seam. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2022; 2(150):51-63. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.26730/1999-4125-2022-2-51-63

REFERENCES

1. Instructions for geological work on coal deposits of the Russian Federation. St.-Petersburg : VNIMI, 1993. 147 p.
2. Rules for the protection of structures and natural objects from the harmful effects of underground mining in coal deposits. St.-Petersburg : VNIMI, 1998. 291 p.
3. Guidelines for the management of rock pressure in treatment faces under (above) targets and marginal parts during the development of a formation of coal seams with a capacity of up to 3.5 m with a drop angle of up to 35°. L. : VNIMI, 1984. 62 p.
4. Interim guidance on the management of rock pressure in the Stopes on the seams with a capacity of up to 3.5 m with an angle of incidence to 35°. L. : VNIMI, 1982. 136 p.
5. Guidance for the rational arrangement, the protection and maintenance of mine workings in coal mines. – M. : «Mining» LLC «Cimmerian center». 2011. 216 p.
6. Borisov A.A. Mechanics of rocks and massifs. M.: Nedra; 1980. 360 p.
7. Instructions for the rational location, protection and maintenance of preparatory workings at coal mines of the USSR. L. , VNIMI; 1986. 222 p.

8. Kalinin S.I., Lyutenko A.F., Egorov P.V., Dyakonov S.G.. Management of rock pressure in the development of shallow layers with a hard-to-break roof in the mines of Kuzbass. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, Kemerovo Publishing House; 1991. 248 p.

9. Instructions for the calculation and application of anchorage in coal mines (Registered with the Ministry of Justice of Russia on 19.02.2014 No. 31354).

10. Prevention of gas dynamic phenomena in coal mines. / Collection of documents. M: Scientific and Technical Center for Safety in Industry. Gosgor-technical Supervision of Russia, 2000. 320 p.

11. Recommendations No. 15 dated 10.11.2016 on the study of the stress-strain state of the host rocks of the Nadbaikaimsky formation during its excavation and part-time work in the conditions of the A.D. Ruban mine of JSC SUEK-Kuzbass and determining the possibility of safe and effective subsequent mining. Prokopyevsk NI PKP – «Coal technologies of Kuzbass», 2016. 115 p.

12. Scientific support of mining of the dredging column 66-09 Mine «Taldinskaya-Zapadnaya-1», SHU «Taldinskaya-Zapadnoye» JSC «SUEK-Kuzbass» / Report on research work. Prokopyevsk: NI PKP, «UTK», 2018. 159s.

13. Ignatov Yu., Tailakov O., Saltymakov E., Gorodilov D. Development of an electrical exploration data post processor e3s // Web of Conferences. VI th International Innovative Mining Symposium. 2021. P. 03027.

14. Batugin A., Kolikov K., Ivannikov A., Ignatov Yu., Krasnoshtanov D.. Transformation of the geodynamic hazard manifestation forms in mining areas. 19th International Multi-disciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019. Conf. proceedings. 2019. P. 717-724.

15. Batugin A., Myaskov A., Ignatov Yu. ETC. Re-using of data on rockbursts for up-to-date research of the geodynamic safety problem. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2018; 221(1). doi:10.1088/1755-1315/221/1/012089

© 2022 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Stepan I. Kalinin, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28, Vesennyyaya st., Kemerovo, 650000, Russian Federation), Dr. Sc. in Engineering, rgn23.12.47@gmail.com

Gennady N. Route, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28, Vesennyyaya st., Kemerovo, 650000, Russian Federation), C.Sc. in Engineering, Associate Professor, mnoc@mail.ru

Yuri M. Ignatov, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (28, Vesennyyaya st., Kemerovo, 650000, Russian Federation), C.Sc. in Engineering, Associate Professor, gagarinaa@suek.ru

Andrei A. Gagarin, chief surveyor, JSC SUEK-Kuzbass (Leninsk-Kuznetsky, Vasilyeva str., 1), vnimi@inbox.ru

Evgeny A. Razumov, director, SF of VNIMI JSC (Prokopyevsk, Gagarin Ave., 24)

Contribution of the authors:

Stepan I. Kalinin – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature; drawing the conclusions; writing the text.

Gennady N. Route – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature; drawing the conclusions; writing the text.

Yuri M. Ignatov – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature; drawing the conclusions; writing the text.

Andrei A. Gagarin – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature; drawing the conclusions; writing the text.

Evgeny A. Razumov – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature;

drawing the conclusions; writing the text.

All authors have read and approved the final manuscript.

