

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ НАДРАБОТАННОГО И ПОДРАБОТАННОГО МЕЖДУПЛАСТЯ СМЕЖНЫХ ПЛАСТОВ ПРИ ИХ СОВМЕСТНОЙ ОТРАБОТКЕ В НИСХОДЯЩЕМ ПОРЯДКЕ

М. Барабаш^{1*}

¹ООО "ДТЭК Энерго", Киев, Украина

*Ответственный автор: e-mail BarabashMV@dtek.com, тел. +380503672506

STATE ANALYSIS OF OVERWORKED AND UNDERWORKED PARTING BETWEEN CONTIGUOUS SEAMS AND DURING THEIR SIMULTANEOUS TOP-DOWN MINING

M. Barabash^{1*}

¹LLS "DTEK Energy", Kyiv, Ukraine

*Corresponding author: e-mail BarabashMV@dtek.com, tel. +380503672506

ABSTRACT

Purpose. Investigating conditions of conducting and maintaining excavation works during mining of seam c_8^l . Evaluating probability of parting rocks stability loss in terms of top-down mining of two contiguous seams in a series.

Methods. Carrying out computational experiments by finite elements method for investigation of the stress-strain state of lithological varieties of parting which is overworked and underworked by stoping on seams c_9 and c_8^l .

Findings. The paper presents the results of the analysis of the vertical and horizontal stress components distribution zones along all the height of the parting for the rock types compiling it, treating separately the impact produced by stoping on seams c_9 and c_8^l on the formation of the stress-strain state.

Originality. The research substantiates the possibility of disturbed rocks sections interlocking and formation of a single zone of softening along the thickness of parting during combined (with a certain displacement in the seam plane) top-down stoping on the series of seams c_9 and c_8^l , which are not referred to as "adjacent seams" according to the normative documents.

Practical implications. The paper describes the possibility of the significant interrelation of contiguous seams during their simultaneous top-down stoping even if they are not related to the category of "adjacent seams". Therefore, in severe mining and geological conditions, it is recommended to estimate the probability of rocks softening along all the height of the parting.

Keywords: series of strata, top-down mining, parting, stresses, rocks softening

1. ВВЕДЕНИЕ

На шахтах Западного Донбасса угольные пласты в свите отрабатываются совместно по два, реже – по три смежных пласта в нисходящем порядке. При этом очистные работы верхнего пласта, как правило, опережают выемку нижнего пласта на несколько столбов для раздельной отработки добычных участков (Savost'yanov & Klochkov, 1992; Kovalevskaya, Varabash & Gusiev, 2016). Однако в весьма сложных горно-геологических условиях нисходящая последовательность отработки двух смежных пластов долж-

на учитывать геомеханические процессы влияния надработки на состояние пород междупластья при выемке нижнего пласта. Определенная нарушенность пород почвы верхнего пласта при прохождении очистного забоя (фронтальное и боковое опорное давление) в сложных условиях может способствовать активизации сдвижения пород надугольной толщи при отработке нижнего пласта (). Особо опасная ситуация возникает, когда зона шарнирно-блокового сдвижения в кровле при отработке нижнего пласта соединяется с областью нарушенных пород почвы к этому времени уже извлеченного вышележащего

пласта (Timoshuk, Demchenko & Sherstuk, 2010; Kovalevs'ka, Illiashov, Fomychov & Chervatuk, 2012). Тогда многократно возрастает высота неустойчивых пород, включающая: зоны беспорядочного обрушения и шарнирно-блокового сдвижения на границе с выработанным пространством нижнего пласта; область нарушенных пород почвы уже отработанного верхнего пласта; зоны беспорядочного обрушения и шарнирно-блокового сдвижения в выработанном пространстве верхнего пласта.

В таких условиях обширная область стабилизации проявлений горного давления (вокруг уже отработанного верхнего пласта), давно пришедшая в равновесное состояние, снова может быть выведена из него с соответствующими вертикальными и горизонтальными подвижками массива на значительную высоту (30 – 50 м и более) в кровлю обрабатываемого нижнего пласта. Нагрузка от сдвижения указанной толщи массива превышает несущую способность секций крепи механизированного комплекса и, тем более, любой крепежной системы выемочных выработок (Kovalevs'ka, Vivcharenko & Snigur, 2013; Symanovych, Demydov & Chervatuk, 2013; Khalymendyk & Baryshnikov, 2016) то есть, возникает чрезвычайно опасная аварийная ситуация, исследование которой выполнено на примере отработки в нисходящем порядке двух смежных пластов c_8^H и c_9 на шахте “Западно-Донбасская” ПАО “ДТЭК Павлоградуголь”.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОСТИ МЕЖДУ ПЛАСТАМИ

Для количественной оценки напряженно-деформированного состояния пород междупластья пластов c_9 и c_8^H проведен вычислительный эксперимент с использованием метода конечных элементов (Kovalevskaaya, 2009; Prusek, 2010; Bondarenko, Kovalevs'ka & Fomychov, 2012), моделирующий условия отработки пласта c_8^H после завершения очистных работ на данном участке шахтного поля по пласту c_9 . Горно-геологическая ситуация изучается на участке междупластья, расположенном над 861 сборным штреком пласта c_8^H . По результатам расчетов построены графики (Рис. 1) изменения коэффициентов концентрации вертикальных K_y и горизонтальных K_x напряжений по высоте h междупластья. Коэффициенты концентрации определяются по выражениям:

$$K_y = \frac{\sigma_y}{\gamma H}; K_x = \frac{\sigma_x}{\lambda \gamma H}, \quad (1)$$

где:

σ_y и σ_x – вертикальные и горизонтальные напряжения соответственно;

H – глубина размещения выработки;

γ – средневзвешенный объемный вес надугольной толщи до земной поверхности;

$\lambda = \frac{\mu}{1-\mu}$ – коэффициент бокового распора;

μ – коэффициент Пуассона.

Зависимость изменения коэффициента K_y концентрации вертикальных напряжений характеризуется рядом особенностей. Сразу же следует отметить, что приведенные зависимости $K_{y,x}(h)$ построены для наиболее напряженного участка 861 сборного штрека, расположенного со стороны нетронутого массива, вертикальная ось которого отстоит от контура штрека на расстояние 1.0 – 2.5 м.

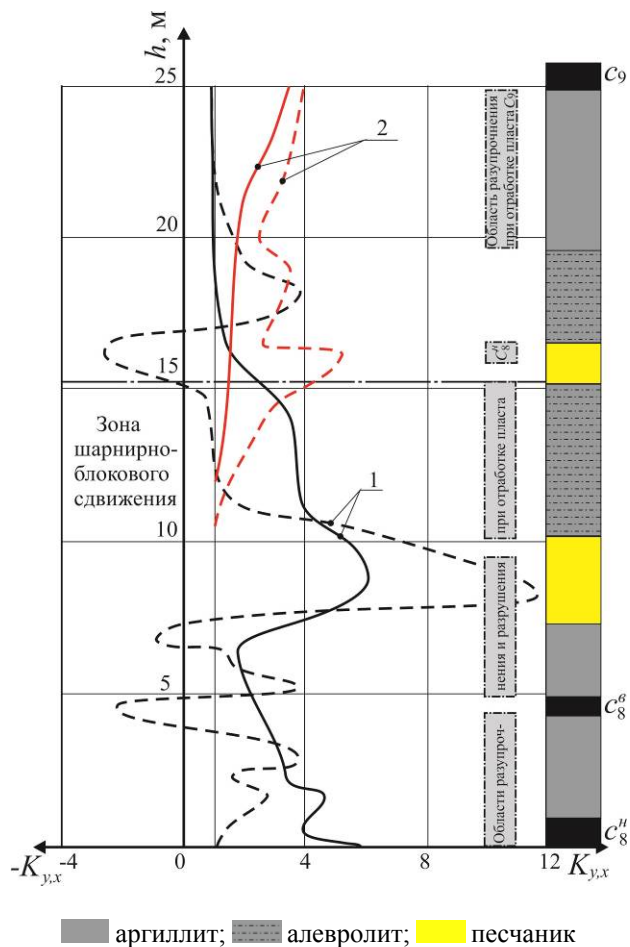


Рисунок 1. Изменение коэффициентов концентраций вертикальных K_y (—) и горизонтальных K_x (---) напряжений по мощности h междупластья пластов c_9 и c_8^H : 1 – при отработке пласта c_8^H ; 2 – при отработке пласта c_9

Непосредственно по высоте выработки коэффициент концентрации K_y изменяется в интервале 4.6 – 5.9 и, безусловно, вызывает разупрочнение и разрушение пород, что подтверждается сравнением сопротивления сжатию залегающих здесь литотипов и величины интенсивности напряжений σ согласно теории прочности Кулона-Мора.

В породах непосредственной кровли из-за слабого сопротивления сжатию аргиллита ($\sigma_{сж} = 14.5$ МПа) его разупрочнение развивается по высоте вплоть до угольного пласта c_8^6 . Здесь следует отметить, что высота области разупрочнения и разрушения показана столбцами в правой части Рисунка 1, но также иметь ввиду определенную ограниченность указанных областей по простиранию пласта. По мощности угольного пласта c_8^6 разупрочнения не происходит, поскольку его сопротивление ($\sigma_{сж} = 30$ МПа) превосходит действующую величину интенсивности напряжений σ .

В аргиллите основной кровли $K_y = 1.8 - 3.8$ и такой концентрации достаточно для его разупрочнения ввиду слабого сопротивления сжатию ($\sigma_{сж} = 16$ МПа).

Область разупрочнения распространяется в вышележащий песчаник, несмотря на его относительно высокую (для условий Западного Донбасса) крепость ($\sigma_{сж} = 45$ МПа), так как здесь $K_y = 3.8 - 6.2$. Но, разупрочнение песчаника развивается не на всю его мощность, что обусловлено снижением интенсивности напряжений σ в верхней части мощности песчаника.

Вышележащий алевролит замыкает зону шарнирно-блокового сдвижения и в нем действует $K_y = 2.4 - 5.1$. Несмотря на увеличенное сопротивление сжатию ($\sigma_{сж} = 21$ МПа) алевролита, он подвержен разупрочнению по всей своей мощности.

Над алевролитом залегает песчаник средней мощности и как более жесткий литотип (по отношению к смежным литологическим разностям) он воспринимает повышенное горное давление с прогибом в сторону выработки. Поэтому в верхней части его мощности развивается разупрочняющая величина интенсивности напряжений σ . Здесь следует иметь ввиду, что небольшая концентрация $K_y = 1.4 - 2.5$ рассматривается в комбинации со значительными растягивающими горизонтальными напряжениями σ_x (коэффициент K_x приобретает отрицательные значения до -2.6), а согласно теории прочности Кулона-Мора сочетание сжатия с растяжением наиболее опасно для целостности любой горной породы.

Залегающий выше алевролит уже находится в устойчивом состоянии с коэффициентом концентрации K_y , снижающимся от 1.4 до 1.0, то есть по вертикальным напряжениям σ_y происходит переход к состоянию нетронутого массива. Аналогичное положение имеет место и для аргиллита, представляющего почву пласта c_9 .

Таким образом, отсутствие разупрочнения в самом напряженном направлении (по вертикали) наблюдается на глубину 8.4 м в почву пласта c_9 .

Концентрации горизонтальных напряжений K_x играют отчасти подчиненную роль, но, тем не менее,

важны с точки зрения формирования разрушающей величины интенсивности напряжений σ согласно теории прочности Кулона-Мора. Величина коэффициента концентрации K_x имеет более высокие значения, так как этот безразмерный параметр определяется по отношению к горизонтальным напряжениям σ_x нетронутого массива, которые обычно составляют 40 – 50% от вертикальных напряжений σ_y . Кроме того, по причине изгиба породных слоев возникают резкие перепады коэффициента K_x даже в пределах мощности одного литотипа, а появление растягивающих σ_x в отдельных породных слоях обуславливает и отрицательные значения K_x .

В аргиллите непосредственной кровли ввиду ее интенсивного изгиба коэффициент K_x изменяется от 1.7 на границе с пластом c_8^6 , затем возрастает до 3.8 и на границе с пластом c_8^6 переходит в отрицательные значения $K_x = -1.6$. Отрицательная величина K_x указывает на прогиб аргиллита в полость выработки, максимум изгибных напряжений σ_x находится на некотором расстоянии 1.5 – 2.0 м от контура выработки со стороны нетронутого массива.

Угольный пласт c_8^6 , несмотря на свою малую мощность в 0.7 м испытывает знакопеременную концентрацию K_x от -2.2 до 1.9. Это происходит по причине повышенного сопротивления угля сжатию, что способствует восприятию повышенной нагрузки. Достаточно интенсивно изгибается и аргиллит, залегающий в кровле пласта c_8^6 ; здесь коэффициент концентрации K_x изменяется от -0.9 до 3.8.

Наиболее нагружен крепкий и жесткий песчаник мощностью 3.0 м; поэтому в нем отмечается максимальное значение коэффициента концентрации $K_x = 11.8$, которое снижается на границе с нижележащим аргиллитом до $K_x = 0.4$.

Залегающий над песчаником мощный алевролит менее подвержен изгибу и коэффициент концентрации в нем изменяется в диапазоне $K_x = 0.2 - 6.9$. На верхней границе алевролита заканчивается зона шарнирно-блокового сдвижения и интервал колебаний K_x сужается ввиду менее интенсивного прогиба слоев без нарушения сплошности. Хотя, в крепком и жестком песчанике, залегающим над алевролитом, колебания K_x остаются существенными: от -2.6 до 0.2. Еще достаточно весомыми являются изменения K_x по мощности вышележащего алевролита: от -2.3 до 3.8. Далее в аргиллите почвы пласта c_9 коэффициент концентрации K_x плавно снижается от 1.8 до 1.0 по мере приближения к пласту c_9 .

Таким образом, оценены зависимости изменения коэффициентов концентрации вертикальных K_y и горизонтальных K_x напряжений по высоте между-

ласть, обусловленные отработкой пласта c_8^H . Здесь наибольший интерес представляют не концентрации $K_{y,x}$, как таковые, а области разупрочнения и разрушения пород на наиболее напряженном участке со стороны нетронутого массива. Каковы последствия образования этих областей будет рассмотрено несколько позже, а сейчас необходимо оценить влияние ранее отработанного пласта c_9 ; соответствующие коэффициенты концентрации $K_{y,x}$ показаны в виде графиков под номером 2 на Рисунке 1.

В аргиллите непосредственной и первого слоя основной почвы пласта c_9 концентрация K_y максимальна и изменяется от 3.5 на границе с угольным пластом до 1.8 на границе с нижележащим алевролитом. Снижение (по глубине почвы пласта c_9) коэффициента концентрации K_x горизонтальных напряжений также происходит плавно без каких-либо возмущений от значения $K_x = 3.9$ на границе с пластом c_9 до $K_x = 2.6$ по плоскости напластования с алевролитом. Следует акцентировать внимание, что по всей мощности аргиллита интенсивность напряжений σ превосходит его низкое сопротивление сжатию ($\sigma_{сж} = 14.5$ МПа), что обуславливает разупрочнение аргиллита по всей мощности.

Нижележащий алевролит находится в целостном состоянии ввиду повышенной его крепости, с одной стороны, а с другой, – продолжается плавное снижение концентрации K_y от 1.8 до 1.6 на границе с залегающим глубже песчаником. Коэффициент концентрации горизонтальных напряжений по мощности алевролита колеблется в интервале $K_x = 2.5 - 3.5$; однако, комбинация концентраций K_y и K_x не способна генерировать разрушающие напряжения σ .

Далее по глубине почвы располагается песчаник, который более нагружен благодаря своей повышенной крепости и жесткости. Поэтому, в нем наблюдается всплеск концентраций горизонтальных изгибных напряжений: в нижней части мощности песчаника $K_x = 4.2$, а в верхней $K_x \geq 2.6$. Концентрации вертикальных напряжений плавно снижаются от $K_y = 1.6$ до $K_y = 1.4$. Влияние отработанного пласта c_9 таково, что не способно вызвать разупрочнение песчаника в отличие от воздействия горных работ по пласту c_8^H .

Ниже песчаника залегает мощный алевролит, являющийся верхней границей зоны шарнирно-блокового сдвижения. По его мощности концентрации $K_{y,x}$ плавно снижаются до значения 1.0, характеризующего состояние нетронутого массива по фактору воздействия отработки пласта c_9 .

В итоге, выявлены особенности распределения (по мощности междупластья) коэффициентов концентрации вертикальных K_y и горизонтальных K_x напряжений с соответствующей оценкой состояния

слагающих литологических разностей на предмет их целостности. С этой точки зрения следует обратить внимание на колонку в правой части Рисунка 1, где отмечена высота областей разупрочнения и разрушения в каждом литотипе междупластья. Эти области нарушенных пород не смыкаются друг с другом, но промежутки целостного массива достаточно ограничены, что обуславливает некоторую вероятность смыкания друг с другом участков нарушенных пород и образования единой зоны разупрочнения по мощности междупластья. Несмотря на то, что по простиранию пластов область нарушенных пород достаточно ограничена, тем не менее, полученные результаты изменяют представления о взаимовлиянии совместно отработываемых пластов в свите: по величине мощности междупластья $h = 23 - 26$ м пласты c_9 и c_8^H никак не относятся к сближенным; тем не менее, их взаимовлияние весьма вероятно и представляется в виде следующего механизма развития геомеханических процессов.

Еще раз отметим, что представленные на Рисунке 1 области разупрочнения ограничены по простиранию несколькими метрами, но есть и более широкие участки нарушенных пород. Большая их часть располагается в зоне шарнирно-блокового сдвижения и зоне плавного прогиба слоев без нарушения сплошности при отработке пласта c_8^H . Устойчивое состояние пород в этих зонах определяется горизонтальными усилиями распора, особенно, породных блоков в ближней к выработке области междупластья. При разрушении некоторого объема пород в зоне шарнирно-блокового сдвижения появляется возможность относительно свободных горизонтальных подвижек породных слоев и усилия распора резко снижаются; вместе с ними уменьшается (или исчезает вовсе) устойчивость распорных породных конструкций. Их обрушение развивается последовательно от нижележащих слоев к вышележащим. В процессе обрушения исчезает подпор со стороны нижележащих слоев и под воздействием вертикального горного давления вышележащие слои переходят в неустойчивое состояние. По такой схеме существует вероятность «цепной реакции» развития обрушений по всей мощности междупластья; тогда никакая крепежная система сборного штрека не справится с вертикальным горным давлением и возникает серьезная аварийная ситуация на выемочном участке.

3. ВЫВОДЫ

В заключение необходимо отметить, что выполненные исследования показывают возможность существенного взаимовлияния смежных пластов (при их совместной нисходящей схеме отработки), даже если по существующей классификации они не относятся к категории сближенных. Поэтому, в каждой конкретной сложной горно-геологической ситуации рекомендуется проводить оценку вероятности потери устойчивости пород междупластья в условиях нисходящего порядка совместной отработки двух смежных пластов в свите.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках реализации госбюджетных комплексных проектов (“Розробка інформатизованих систем моніторингу і керування процесами взаємодії полів напружено-деформованого стану масиву при формуванні відкритих гірничих виробок і штучних підземних споруд”, № г/р 0114U006105; “Розвиток наукових основ управління навантаженням кріпильних, охоронних систем повторно використуваних виробок. Підвищення ефективності протипилового захисту”, № г/р 0115U002295).

Автор работы выражает искреннюю благодарность коллективу кафедры подземной разработки месторождений Национального горного университета и ШУ “Терновское” ПАО “ДТЭК Павлоградуголь” за помощь в проведении исследований.

REFERENCES

- Bondarenko, V., Kovalevs'ka, I., & Fomychov, V. (2012). Features of carrying out experiment using finite-element method at multivariate calculation of “mine massif – combined support” system. *Geomechanical Processes during Underground Mining: School of Underground Mining 2012*, 7-13. <http://dx.doi.org/10.1201/b13157-3>
- Kovalevs'ka, I., Illiashov, M., Fomychov, V., & Chervatuk, V. (2012). The formation of the finite-element model of the system “undermined massif – support of stope”. *Geomechanical Processes During Underground Mining: School of Underground Mining 2012*, 73-79. <http://dx.doi.org/10.1201/b13157-13>
- Kovalevs'ka, I., Vivcharenko, V., & Snigur, V. (2013). Specifics of percarbonic rock mass displacement in

longwalls end areas and extraction workings. *Mining of Mineral Deposits*, 29-33.

<http://dx.doi.org/10.1201/b16354-7>

- Kovalevs'ka, I. (2009). Metodologiya razrabotki metoda rascheta peremeshcheniy kontura ramnoy krepki vyemchnoy vyrabotki. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (11), 13-16.
- Kovalevs'ka, I., Barabash, M., & Gusiev, O. (2016). Research into stress-strain state of reinforced marginal massif of extraction mine working by combined anchoring system. *Mining of Mineral Deposits*, 10(1), 31-36. <http://dx.doi.org/10.15407/mining10.01.031>
- Khalymendyk, Yu., & Baryshnikov, A. (2016). Substantiation of cable bolts parameters for supporting mine workings in conditions of laminated rocks. *Mining of Mineral Deposits*, 10(1), 9-15. <http://dx.doi.org/10.15407/mining10.01.009>
- Prusek, S. (2010). Review of support systems and methods for prediction of gateroads deformation. *New Techniques and Technologies in Mining*, 25-35. <http://dx.doi.org/10.1201/b11329-6>
- Savost'yanov, A., & Klochkov, V. (1992). *Upravlenie sostoyaniem massiva gornykh porod*. Kyiv: Naukova dumka.
- Symanovych, G., Demydov, M., & Chervatuk, V. (2013). Influence mechanism of rock mass structure forming a stress on a face support. *Mining of Mineral Deposits*, 77-81. <http://dx.doi.org/10.1201/b16354-15>
- Timoshuk, V., Demchenko, J., & Sherstuk, Y. (2010). The role of natural and technogenic components in failure of geomechanical stability of the territories which are in the influence zone of mining objects. *New Techniques and Technologies in Mining*, 189-192. <http://dx.doi.org/10.1201/b11329-31>

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Цель. Изучение условий проведения и поддержания пластовых выемочных выработок при отработке пласта c_8^H . Оценка вероятности потери устойчивости пород междупластья в условиях нисходящего порядка совместной отработки двух смежных пластов в свите.

Методика. Выполнение вычислительных экспериментов методом конечных элементов по исследованию напряженно-деформированного состояния литологических разностей междупластья, надработанного и подработанного очистной выемкой пластов c_9 и c_8^H .

Результаты. Приведены результаты анализа зон распределения вертикальных и горизонтальных компонент напряжений по всей высоте междупластья для составляющих ее типов горных пород с разделением влияния на формирование напряженно-деформированного состояния очистных работ по пластам c_9 и c_8^H .

Научная новизна. Обусловлена вероятность смыкания участков нарушенных пород и образования единой зоны разупрочнения по мощности междупластья при совместном (с некоторым смещением в плоскости пластов) ведении очистных работ в нисходящем порядке отработки в свите пластов c_9 и c_8^H , которые по нормативным документам не относятся к сближенным пластам.

Практическая значимость. Установлена возможность существенного взаимовлияния смежных пластов при их совместной отработке в нисходящем порядке, даже не отнесенных к категории сближенных. Поэтому рекомендуется в сложных горно-геологических условиях проводить оценку вероятности разупрочнения пород по всей высоте междупластья.

Ключевые слова: свита пластов, нисходящий порядок отработки, междупластье, напряжения, разупрочнение пород

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Вивчення умов проведення і підтримання пластових виїмкових виробок при відпрацюванні пласта c_8^H . Оцінка ймовірності втрати стійкості порід міжпластя в умовах спадного порядку спільного відпрацювання двох суміжних пластів у світі.

Методика. Виконання обчислювальних експериментів методом скінченних елементів з дослідження напружено-деформованого стану літологічних різниць міжпластя, надробленого й підробленого очисним вийманням пластів c_9 і c_8^H .

Результати. Наведено результати аналізу зон розподілу вертикальних і горизонтальних компонент напружень по всій висоті міжпластя для складових її типів гірських порід з поділом впливу на формування напружено-деформованого стану очисних робіт по пластах c_9 і c_8^H .

Наукова новизна. Обумовлено ймовірність змикання ділянок порушених порід і утворення єдиної зони знеміцнення за потужністю міжпластя при спільному (з деяким зсувом у площині пластів) веденні очисних робіт у спадному порядку відпрацювання у світі пластів c_9 і c_8^H , які за нормативними документами не відносяться до зближених пластів.

Практична значимість. Встановлено можливість суттєвого взаємовпливу суміжних пластів при їх спільному відпрацюванні в спадному порядку, навіть не віднесених до категорії зближених. Тому рекомендується у складних гірничо-геологічних умовах проводити оцінку ймовірності знеміцнення порід по всій висоті міжпластя.

Ключові слова: *світа пластів, спадний порядок відпрацювання, міжпластя, напруження, знеміцнення порід*

ARTICLE INFO

Received: 22 April 2016

Accepted: 30 June 2016

Available online: 30 June 2016

ABOUT AUTHORS

Mykhailo Barabash, Deputy Director for Production, LLC “DTEK Energy”, 57 Lva Tolstogo St, 01032, Kyiv, Ukraine.

E-mail: BarabashMV@dtek.com