

---

---

УДК 622.273.21

**Кошка А.Г.**, канд. техн. наук  
**Яворский А.В.**, канд. техн. наук  
**Малашкевич Д.С.**  
**Яворская Е.А.**, канд. техн. наук,  
(ГВУЗ «НГУ»)

**ОТРАБОТКА ТОНКИХ И ВЕСЬМА ТОНКИХ ПЛАСТОВ  
С ОСТАВЛЕНИЕМ ПУСТЫХ ПОРОД В ШАХТЕ**

**Кошка О.Г.**, канд. техн. наук  
**Яворський А.В.**, канд. техн. наук  
**Малашкевич Д.С.**  
**Яворська О.О.**, канд. техн. наук  
(ДВНЗ «НГУ»)

**ВІДПРАЦЮВУВАННЯ ТОНКИХ І ВЕЛЬМИ ТОНКИХ ПЛАСТІВ  
ІЗ ЗАЛИШЕННЯМ ПУСТИХ ПОРІД У ШАХТІ**

**Koshka A.G.**, Ph.D. (Tech.)  
**Yavors'kyu A.V.**, Ph.D. (Tech.)  
**Malashkevych D.S.**  
**Yavors'kaya E.A.**, Ph.D. (Tech.)  
(SHEI «NMU»)

**MINING OF THIN AND EXTRA THIN SEAMS WITH WASTE ROCKS  
LEFT IN THE MINE**

**Аннотация.** Показано состояние и актуальность вопроса оставления пустых пород получаемых от присечек в очистных и подготовительных забоях в выработанном пространстве лав. Обоснованы наиболее целесообразные пути решения этого вопроса. Для оценки опусканий и построения мульд сдвижения земной поверхности при различном заполнении выработанного пространства закладочным материалом использован математический аппарат, разработанный в Национальном горном университете. Расчетная схема включает слой наносов, карбон, угольный пласт, очистную выработку и выработанное пространство, заполненное закладочным материалом и обрушенными породами. Приведены результаты расчетов опусканий поверхности в зависимости от полноты закладки и полных опусканий кровли очистного забоя. Представленные в статье исследования позволят сделать самотечную закладку эффективным и экономически оправдывающим себя способом оставления породы в шахте.

**Ключевые слова:** селективная выемка, оставление пород, опускание поверхности.

**Введение.** Основными факторами, существенно ухудшающими экологическую обстановку угледобывающих регионов, являются: подработка земной поверхности и выдача из шахт больших объемов пустых пород, загрязняющих земельные угодья, водный и воздушный бассейны.

На природоохранные мероприятия по ликвидации последствий деятельности угольных предприятий затрачивается значительное количество средств. Однако никакие средства не позволяют полностью ликвидировать все негативные последствия, так как большинство из них носят необратимый характер.

Особо остро эта проблема стоит при отработке тонких и весьма тонких угольных пластов, балансовые запасы которых на шахтах Украины, по разным источникам, превышают 80 % от общих запасов угля. В результате, в эксплуатации находится большое количество пластов мощностью до 1 м, которые отрабатываются, в основном, с вынужденными присечками боковых пород. В настоящее время, на отдельных шахтах Украины, объем породы, выдаваемой на поверхность, превышает объем добываемого угля. Пустая порода от присечек в очистных и подготовительных забоях выдается из шахт вместе с углем, формируя так называемую «горную массу». При этом нерационально используется электроэнергия, подземный и поверхностный транспорт, подъем, людские и материальные ресурсы, соответственно повышается себестоимость добываемой и отгружаемой шахтами горной массы. Рост зольности угля, за счет засорения пустыми присекаемыми породами, ухудшает его качество, а значит снижает цену, требует дополнительных затрат на транспорт и обогащение горной массы, складирование отходов обогащения на поверхности. Поэтому, для каждой конкретной шахты и, отрасли в целом, вопрос эффективной отработки тонких и весьма тонких угольных пластов без выдачи на поверхность значительных объемов пустых пород - это вопрос не только и не столько экологический, сколько экономический и технологический.

**Анализ применения закладки на шахтах Украины.** Одним из наиболее реальных путей, позволяющих значительно снизить негативные последствия деятельности шахт на экологическое состояние регионов, уменьшить себестоимость добываемого угля, повысить его качество и цену, является широкое применение технологии селективной отработки маломощных угольных пластов, предусматривающей оставление присекаемых в очистных и подготовительных забоях пустых пород в выработанном пространстве лав [1,2].

На сегодня наиболее отработанным вариантом такой технологии является вариант с закладкой пород, присекаемых в очистных забоях, в выработанном пространстве пневмо-закладочными комплексами «Титан-1» и «Титан-1М», дробильно-закладочными стационарными комплексами (ДЗК) отечественного производства и чешскими закладочными машинами ZP-200, ZS-240[3].

Дробильно-закладочный комплекс "Титан" в свое время получил достаточно широкое применение на шахтах Украины для закладки и оставления в выработанном пространстве породы от проведения подготовительных выработок. Объем применения этого комплекса составил около 50 единиц [3]. Однако в 90-е годы он был снят с серийного производства по причине низкой эффективности.

Чешские закладочные машины ZP-200 и ZS-240 применялись на шахте им. М. Горького для закладки пород от присечек в очистных забоях, работающих с отдельной выемкой угольных пластов и присекаемых боковых пород.

Закладочные машины использовали сжатый воздух из общешахтной пневмосети, подготовка закладочного материала осуществлялась по одностадийной схеме с использованием двух параллельно работающих дробилок ДО1. Подготовленный закладочный материал посредством ленточного конвейера подавался к закладочной машине и закладывался в выработанное пространство очистного забоя [3].

На пологих пластах широкое применение получили скреперные закладочные установки типа ЗК-02 и ЗК-03 [3], которые также использовались для закладки породы в выработанное пространство лав и раскосок при прохождении подготовительных выработок (более 400 установок). Использовались и другие средства механической закладки, в частности метательные машины (ленточно-барабанные и дисковые), которые, однако, не получили широкого применения.

Наиболее распространенной в угольной и горнорудной промышленности бывшего СССР была гидравлическая закладка, удельный вес которой составлял 70-80%. Были созданы специальные выемочные механизированные комплексы (КМГЗ, КВЗ и др.), которые позволяли механизировать процессы отработки пластов и закладки выработанного пространства. В качестве закладочного материала использовались песок, щебень, хвосты обогатительных фабрик, а в некоторых случаях и порода терриконов. Так, на шахте "Красный Октябрь" находился в эксплуатации гидрозакладочный комплекс ГЗК, который осуществлял закладку выработанного пространства породой, специально подготовленной на поверхности [3].

На шахтах Донбасса, отрабатывающих крутые, крутонаклонные и наклонные пласты, был достаточно широко распространен самотечный способ закладки, при котором закладочный материал самотеком по почве пласта, металлическим листам или решеткам поступал к месту закладки в выработанное пространство лавы. Он применялся, для полной и частичной закладки выработанного пространства, а также выкладки бутовых полос у вентиляционных штреков лав.

Нашла свое применение и твердеющая закладка, которая используется в настоящее время на ряде шахт, в основном для возведения литых полос на сопряжениях лав со штреками (ш/у «Покровское» и др.).

Анализ используемых на шахтах Украины в разные годы способов закладки выработанного пространства показал, что для поставленной в работе задачи, а именно – оставления в выработанном пространстве лав пустых пород, получаемых в подготовительных и очистных забоях наиболее целесообразными являются пневматический и самотечный способы закладки, которые, хотя и имеют ряд недостатков, но позволяют использовать в качестве закладочного материала шахтную породу в больших объемах.

**Основная часть.** Произведем оценку влияния этих способов закладки на конвергенцию боковых пород в выработанном пространстве, при работе с раздельной выемкой угольного пласта и присекаемых пород почвы с оставлением пустых пород в выработанном пространстве лавы.

На рис.1 представлена принципиальная схема к расчету величины опуска-

ния пород кровли  $h$  и остаточной высоты закладки  $m_{ост}$ .

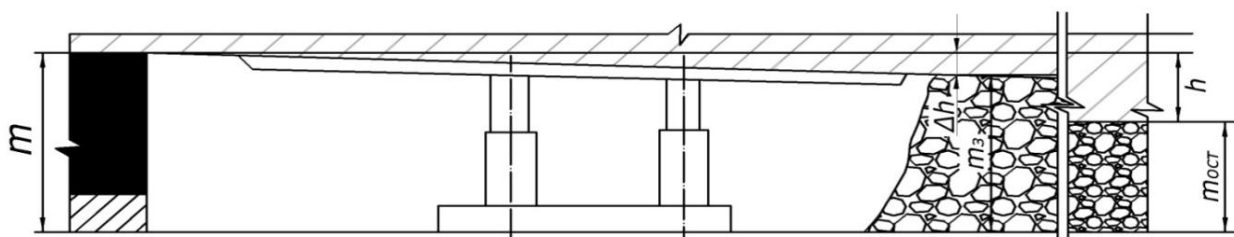


Рис. 1 - Схема к расчету величины опускания пород кровли

Величина опускания пород кровли с учетом усадки пород в выработанном пространстве составит:

$$h = m_B - m_з \cdot k_{ост}, \text{ м} \quad (1)$$

где  $m_B$  – вынимаемая мощность, м;  $m_з$  – высота закладываемого массива, м;  $k_{ост}$  – коэффициент, учитывающий остаточную высоту закладочного массива;  $k_{ост} = 0,80$  – для пневматической закладки и  $0,78$  – для самотечной закладки.

В случае полной закладки выработанного пространства (по высоте):

$$h = m_B - (m_B - \Delta h) \cdot k_{ост}, \text{ м}$$

где  $\Delta h$  – величина конвергенции боковых пород в лаве, м

$$\Delta h = \alpha m R, \text{ м}$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий удельную конвергенцию пород,  $\text{м}^{-1}$ ;  $R$  – расстояние от забоя до закладочного массива, м.

Исходные данные для расчетов:

- мощность пласта, геологическая: 0,9, 0,8, 0,7, 0,6, 0,5 м;
- мощность пласта, вынимаемая: 1,1 м
- величина присекаемых пород почвы: 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6 м;
- присекаемые породы: аргиллит;
- породы непосредственной кровли: алевролит;
- плотность закладки: - пневматической - 0,8;
- самотечной - 0,7.

Исходя из выражения (1), при условии полной закладки выработанного пространства (под кровлю) и с учетом ее усадки при вынимаемой мощности 1,1 м, опускание кровли составит: 0,40 м – для самотечной закладки, 0,38 м – для пневматической закладки.

В таблице 1 представлены величины конвергенции боковых пород, при самотечной закладке, и остаточная мощность закладочного массива, в случае, когда закладка выработанного пространства имеет своей целью лишь оставление в выработанном пространстве пород от присечек почвы и (или) кровли.

Таблица 1 - Величины конвергенции боковых пород при самотечной закладке и остаточная мощность закладочного массива

Заполнение выработанного пространства (по высоте), %	Величина полных опусканий пород кровли в выработанном пространстве лавы, $h, \text{м}$	Остаточная мощность закладочного массива $m_{\text{ост}}, \text{М}$
90	0,46	0,64
80	0,54	0,56
70	0,61	0,49
60	0,68	0,42
50	0,75	0,35
40	0,82	0,28

Для оценки опусканий и построения мульд сдвижения земной поверхности при различном заполнении выработанного пространства закладочным материалом воспользуемся математическим аппаратом, разработанным в Национальном горном университете [4]. Расчетная схема изображена на рис. 2. Она включает слой наносов, карбон (однородный слой с усредненными свойствами вмещающих пород), угольный пласт, очистную выработку и выработанное пространство, заполненное закладочным материалом и обрушенными породами. Действующая нагрузка – вес пород.



Рис. 2 - Расчетная схема

Расчеты выполнены для горно-геологических условий шахт Донбасса при следующих исходных данных:  $h_n = 140 \text{ м}$ ;  $H = 400 \text{ м}$ ; мощность обрабатываемого пласта  $m = 1,0 \text{ м}$ ; средняя скорость перемещения очистного забоя  $V = 60 \text{ м/мес}$ . Свойства угля и вмещающих пород приведены в табл. 2.

Приведенные в табл. 2 данные для карбона определены как средние значения

соответствующих характеристик вмещающих пород (аргиллита, алевролита, песчаника и известняка). Построение мульды сдвижения на земной поверхности, образующейся над движущимся фронтом очистных работ, производилось по принципу суперпозиции. Это означает, что сдвижение данной точки поверхности определялось как сумма влияний отдельных “элементарных” вынимаемых элементов. Длина такого элемента принималась равной шагу обрушения основной кровли, который в рассматриваемых условиях составляет 10...22 м.

Таблица 2 - Свойства угля и вмещающих пород

Порода	Объемный вес, $\gamma$ , т/м <sup>3</sup>	Модуль упругости, $E \cdot 10^{-3}$ , МПа	Коэффициент Пуассона, $\nu$	Параметры ползучести	
				$\delta \cdot 10^3$ , с <sup><math>\alpha-1</math></sup>	$\alpha$
Наносы	1,5	0,07	0,3	13,9	0,862
Карбон	2,76	3,18	0,3	6,84	0,7
Разрушенные породы	1,5	0,01	0,499	-	-
Уголь	1,47	20	0,35	2,32	0,7

Построенные по результатам расчетов мульды сдвижений, показаны на рис. 3.

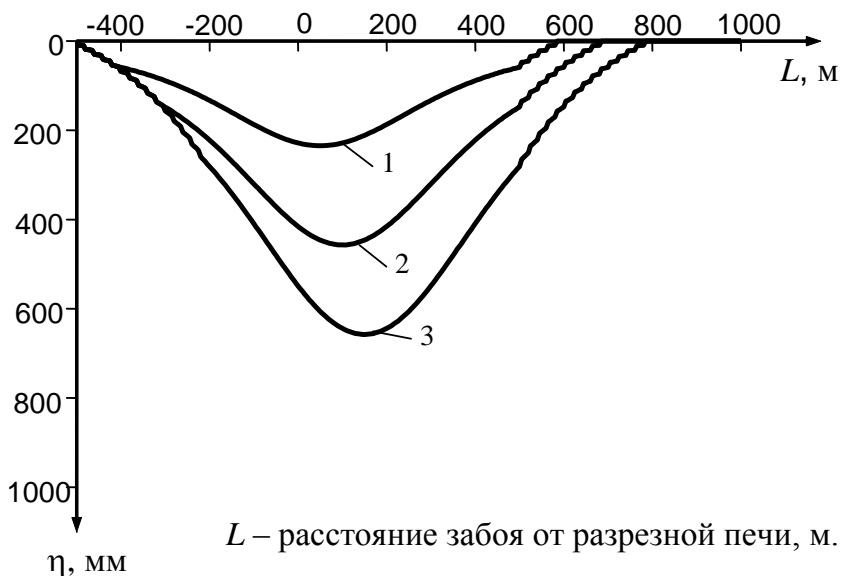


Рис. 3 - Мульды сдвижения земной поверхности при различных значениях полных опусканий: 1 -  $h/m=0,25$ ; 2 -  $h/m=0,5$ ; 3 -  $h/m=0,75$ .

Анализ результатов расчетов, приведенных на рис. 3, показывает, что опускания поверхности прямо-пропорционально зависят от значений полных опусканий пород кровли в выработанном пространстве, которые в свою очередь определяются как разность между вынимаемой мощностью пласта и остаточной мощностью закладочного массива. Так, при увеличении полных опусканий кровли в два или три раза, соответственно до 0,5 и 0,75, опускания поверхности

также увеличиваются в два, три раза с 200 до 440 и 680 мм, на расстоянии от 500 до 700 м от линии забоя.

Кривые рассчитанных оседаний и горизонтальных перемещений в главном сечении мульды на поверхности при полной подработке в рассматриваемых условиях изображены на рис. 4 (сплошные линии – результаты расчетов, выполненных без учета ползучести пород, а пунктирные – с учетом этого фактора).

Из рис. 4 а следует, что кривая оседаний со временем выполаживается, при этом значения смещений, по сравнению с результатами расчета без учета реологических свойств пород, увеличивается примерно на 10...25%, а в краевых частях мульды примерно на столько же уменьшаются.

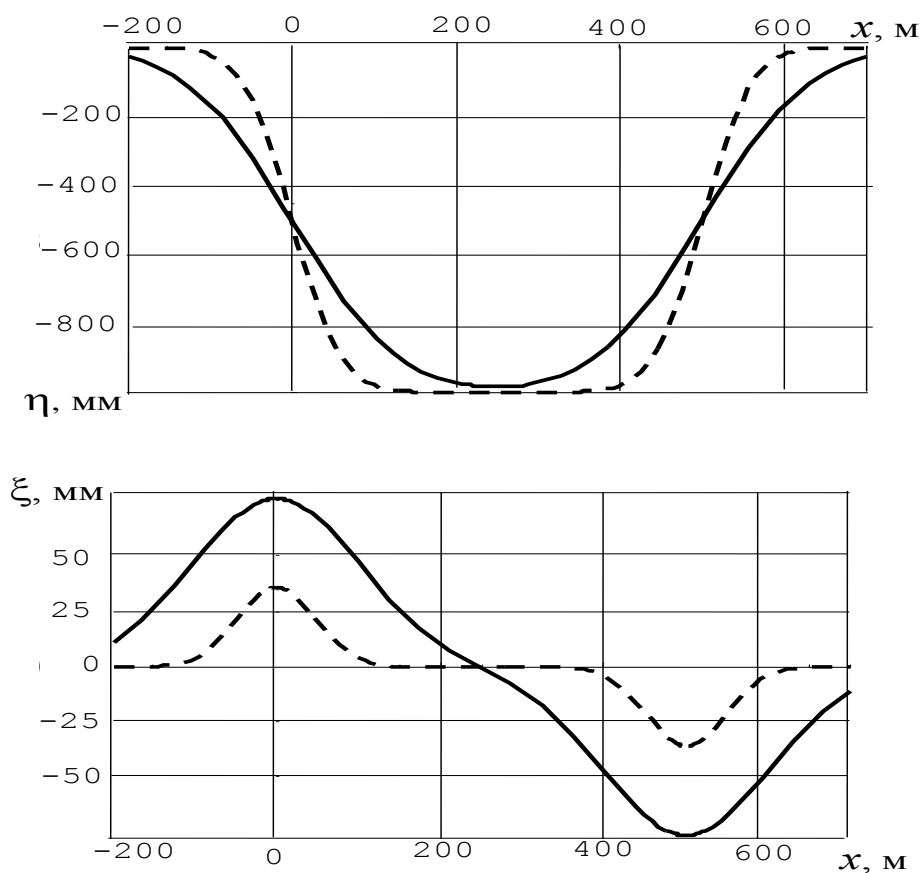


Рис. 4 - Смещения в главном сечении мульды земной поверхности:  
а) – оседания; б) – горизонтальные смещения

В отношении горизонтальных смещений можно отметить следующее. Форма кривой  $\xi(x)$  со временем не меняется. Изменяется только масштаб: значения  $\xi(x)$  уменьшаются в 2,1 раза.

На основе статистического анализа данных выполненных расчётов установлена корреляционная зависимость максимальных относительных оседаний от параметра  $z = h/m$ , характеризующего полное опускания пород кровли в выработанном пространстве лавы:

$$\frac{\eta_{max}(z)}{\eta_0} = -5,021z^3 - 9,271z^2 + 97,72z - 0,2284 \quad (2)$$

где  $\eta_0$  – максимальный прогиб кровли пласта при полной подработке;

$$z = \frac{h}{m} \in [0,05...1,0].$$

Коэффициент корреляции данной зависимости  $R=0,99$ .

На рис. 5 изображена кривая  $\frac{\eta_{max}(z)}{\eta_0}$ , построенная по соотношению (2).

Точками обозначены данные соответствующих вариантов расчёта.

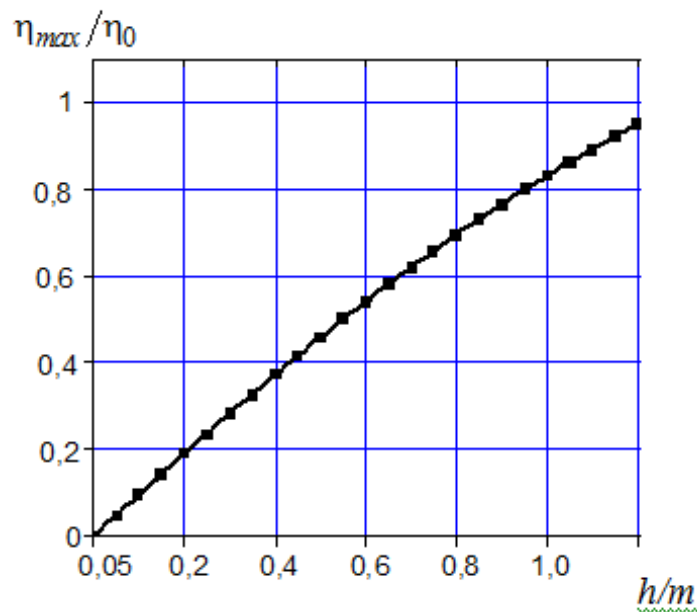


Рис. 5 - Максимальные оседания мульд при различных значениях полных опусканий

Анализ результатов расчетов показал, что значения оседаний составляют 82 – 90% от полных опусканий пород кровли в выработанном пространстве.

**Выводы.** При полной закладке выработанного пространства самотечная закладка может служить практически такой же эффективной мерой по уменьшению опусканий земной поверхности, как и пневматическая. Но, поскольку недостатки самотечной закладки существенно уступают ее преимуществам, можно считать этот вид закладки наиболее рациональным для условий большинства шахт Донбасса.

Вместе с тем, вопросы технологии закладочных работ при самотечной закладке пологих и наклонных пластов характеризуются недостаточной изученностью и отсутствием научного обоснования основных параметров и области применения. Это обстоятельство, а также ряд организационно-технических факторов, пока не дают возможности использования этого вида закладки для оставления получаемых в очистных и подготовительных забоях пустых пород



от присечек почвы и кровли отрабатываемых пластов в выработанном пространстве лав. Решение этих вопросов позволило бы сделать самотечную закладку эффективным и экономически оправдывающим себя способом оставления породы в шахте.

С помощью полученных в НГУ аналитических соотношений для горно-геологических условий шахт Донбасса определены показатели деформаций земной поверхности в условиях полной и неполной подработки и выявлены следующие закономерности:

- опускания поверхности прямо-пропорциональны значениям полных опусканий пород кровли в выработанном пространстве, так, при увеличении полных опусканий кровли с 0,25 до 0,5 и 0,75 от вынимаемой мощности пласта, максимальные значения мульды оседаний поверхности, на расстоянии от 500 до 700 м от линии забоя, увеличиваются, соответственно с 220 до 440 и 670 мм;

- максимальные значения мульды оседания при полной подработке за счет ползучести увеличиваются в 1,1...1,25 раза, горизонтального смещения – в 1,5...1,53 раза.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология селективной отработки тонких угольных пластов: моногр./В.И. Бузило, А.Г. Кошка, В.П. Сердюк [и др.] – Д.: Национальный горный университет, 2012. -138с.
2. Технология отработки тонких пластов с закладкой выработанного пространства: моногр./ В.И. Бузило, В.И. Сулаев, А.Г. Кошка [и др.] - Д.: Национальный горный университет, 2013. – 124 с.
3. Джваршеишвили, А.Г. Закладочное хозяйство шахт и рудников / А.Г. Джваршеишвили, В.А.Силагадзе, А.К.Инашвили [и др.]. - М.: Недра, 1978. - 280 с.
4. Напряженно – деформированное состояние породного массива при отработке пологого угольного пласта под охранными объектами: моногр./ А.В. Яворский, А.Г. Кошка, В.П. Сердюк [и др.]. – Д.: Национальный горный университет, 2010. – 121 с.

#### REFERENCES

1. Buzilo, V.I., Koshka, A.G., Serduk, V.P. and etc. (2012), *Technologiya selektivnoy otrabotki tonkikh ugolnykh plastov* [The technology of selective mining of thin coal seams], National Mining University, Dnepropetrovsk, Ukraine.
2. Buzilo, V.I., Sulaev, V.I, Koshka, A.G. and etc (2013), *Technologiya otrabotki tonkikh plastov s zakladkoy vyrabotannogo prostranstva* [Technology mining thin seams with stowing goaf], National Mining University, Dnepropetrovsk, Ukraine.
3. Dzhvarsheishvili, A.G., Silagadze, V.A., Inashvili, A.K. and Shavgulidze, Sh.V. (1978), *Zakladochnoe khozyaystvo shakht i rudnilov* [Waste stowing mines], Nedra, Moscow, USSR.
4. Yavors`kyu, A. V., Koshka, O.G., Serduk, V.P. and Yavors`ka O.O. (2010), *Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie porodnogo massiva pri otrabotke pologogo ugolnjg plasta pod okhrannymi obektami* [Stress-strain state of rock massif during mining flat coal seam under the protected objects], National Mining University, Dnepropetrovsk, Ukraine.

---

#### Об авторах

**Кошка Александр Григорьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры подземной разработки месторождений Государственного высшего учебного заведения «Национальный горный университет» (ГВУЗ «НГУ»), Днепропетровск, Украина, [agkoshka@bk.ru](mailto:agkoshka@bk.ru)

**Яворский Андрей Васильевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры подземной разработки месторождений Государственного высшего учебного заведения «Национальный горный университет» (ГВУЗ «НГУ»), Днепропетровск, Украина, [yavorskiyandrey@mail.ru](mailto:yavorskiyandrey@mail.ru)

**Малашкевич Дмитрий Сергеевич**, аспирант кафедры подземной разработки месторождений Государственного высшего учебного заведения «Национальный горный университет» (ГВУЗ «НГУ»), Днепропетровск, Украина, [malashkevich\\_dima@mail.ru](mailto:malashkevich_dima@mail.ru)

*Яворская Елена Александровна*, кандидат технических наук, доцент кафедры аэрологии и охраны труда Государственного высшего учебного заведения «Национальный горный университет» (ГВУЗ «НГУ»), Днепропетровск, Украина, [lenayavorskay@mail.ru](mailto:lenayavorskay@mail.ru)

#### **About the authors**

*Koshka Aleksandr Grygorevych*, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor of the Underground mining department, State Higher Educational Institution «National Mining University» (SHEI «NMU»), Dnepropetrovsk, Ukraine, [agkoshka@bk.ru](mailto:agkoshka@bk.ru)

*Yavors'kyu Andrey Vasylevych*, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor of the Underground mining department, State Higher Educational Institution «National Mining University» (SHEI «NMU»), Dnepropetrovsk, Ukraine, [yavorskiyandrey@mail.ru](mailto:yavorskiyandrey@mail.ru)

*Malashkevych Dmytriy Sergeevych*, Post-graduate Student of the Underground mining department, State Higher Educational Institution «National Mining University» (SHEE "NMU"), Dnepropetrovsk, Ukraine, [malashkevich\\_dima@mail.ru](mailto:malashkevich_dima@mail.ru)

*Yavors'kaya Elena Aleksandrovna*, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor of the Aerology and labor protection department, State Higher Educational Institution «National Mining University» (SHEI «NMU»), Dnepropetrovsk, Ukraine, [lenayavorskay@mail.ru](mailto:lenayavorskay@mail.ru)

---

**Анотація.** Показано стан і актуальність питання залишення порожніх порід одержуваних від присічок в очисних і підготовчих вибоях у виробленому просторі лав. Обґрунтовано найбільш доцільні шляхи вирішення цього питання. Для оцінки опускань і побудови мульд зрушення земної поверхні при різному заповненні виробленого простору закладним матеріалом використаний математичний апарат, розроблений в Національному гірничому університеті. Розрахункова схема включає шар наносів, карбон, вугільний пласт, очисну виробку та вироблений простір, заповнене закладним матеріалом і заваленими породами. Наведено результати розрахунків опускань поверхні в залежності від повноти закладки і повних опускань покрівлі очисного вибою. Представлені в статті дослідження дозволять зробити самопливну закладку ефективним і економічно виправдувати себе способом залишення породи в шахті.

**Ключові слова:** селективна виїмка, залишення порід, опускання поверхні.

**Abstract.** The article describes status and pressing challenge of a problem concerning leaving of waste rocks after coal-cutting in the mined-out space of the stopes and development headings in the faces, and presents the most rational way of solving this live problem. In order to estimate rate of subsidence and to construct troughs of surface replacement at various types of backfilling of the mined-out space with the stowing materials a mathematical apparatus is used which was designed by the Dnipropetrovsk National Mining University. The design model includes a layer of sediment, carbon, coal seam, stope and mined-out space filled with a stowing material and caved rocks. Results of calculation of surface subsidence are shown depending on the completeness of the stowing and full roof subsidence in the stope. Findings presented in this paper make the gravity-fed stowing efficient and cost-justifying way to leave the rocks in the mine.

**Keywords:** selective mining, leaving rocks, lowering of the surface.

*Статья поступила в редакцию 25.09.2013  
Рекомендовано к публикации д.т.н., проф. В.И. Бузило*