

УДК 622.274:622.834

DOI: 10.15587/2312-8372.2020.206009

ОБОСНОВАНИЕ УСЛОВИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКАТОЧНЫХ ШТРЕКОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПЛАСТОВ КРУТОГО ПАДЕНИЯ

Иорданов И. В., Симонова Ю. И., Новикова Ю. В., Король А. В., Подкопаев Е. С., Каюн А. П.

Объектом исследований являются процессы обеспечения устойчивости боковых пород в откаточных штреках при разработке угольных пластов крутого падения. С увеличением глубины горных работ применяемые способы охраны участковых подготовительных выработок должны обеспечивать их эксплуатационное состояние на выемочных участках и соответствовать изменяющимся горно-геологическим условиям в пределах шахтного поля. Исследования проявлений горного давления в откаточных штреках по длине выемочного участка были выполнены в натуральных условиях. На специально оборудованных замерных станциях определялась величина смещения боковых пород на контуре подготовительной выработки. Откаточный штрек охранялся накатными кострами из деревянных шпал или целиками угля. В ходе исследований было установлено влияние жесткости охранных сооружений на устойчивость боковых пород в откаточном штреке. Зафиксирована линейная зависимость смещений пород кровли и нагрузки на крепь в выработке по длине выемочного участка при охране откаточного штрека целиками угля. Одновременно с этим, при уменьшении жесткости целиков на 80 % сечение откаточного штрека уменьшается на 50 % от первоначального. Отмечено, что использование деревянных конструкций для охранных сооружений позволяет ограничить смещения пород на контуре откаточного штрека. В результате взаимодействия боковых пород с деревянными охранными сооружениями, при снижении их жесткости на 80 %, сечение откаточного штрека уменьшается на 30–35 % от первоначального. Исследования показали, что уменьшение жесткости деревянных конструкций происходит за счет их сжатия, а целиков угля – в результате разрушения. Замечено, что наиболее сложные условия поддержания откаточных штреков формируются при применении целиков угля. Рекомендуется для обеспечения устойчивости участковых подготовительных выработок применение податливых охранных сооружений или закладки выработанного пространства. Полученные результаты исследований могут быть использованы при выборе способа охраны откаточных штреков на пластах крутого падения.

Ключевые слова: горное давление, откаточный штрек, способы охраны, очистные работы, накатные костры, целики угля.

1. Введение

Проблема поддержания выработок при разработке крутых угольных пластов является одной из основных задач повышения технико-экономических показателей добычи полезных ископаемых на угольной шахте. Неудовлетворительное состояние откаточных штреков на выемочных участках и выполнение в них ремонтных работ отрицательно влияют на работу очистных забоев, ухудшают условия проветривания и снижают уровень техники безопасности при ведении горных работ.

Анализ известных способов охраны откаточных штреков на крутом падении свидетельствует об их разнообразии [1, 2]. Вместе с тем, опыт работы шахт показывает, что в практике ведения горных работ по-прежнему предпочитают использовать традиционный способ охраны откаточных штреков, с помощью целиков угля. Причем высота целиков, ограничивающих выработку от влияния выработанного пространства, составляет 8 м [3, 4]. Следует отметить, что охранные угольные целики ограниченных размеров (до 10 м) способны к разрушению и высыпанию, что содействует образованию пустот над штреком и ухудшению устойчивости.

При этажном способе подготовки крутых угольных пластов в углепородном массиве происходит последовательное отделение слоев от вышележащей толщи. После этого происходит сдвигание, деформирование и обрушение боковых пород. С увеличением угла падения пластов под действием сил собственного веса расслоившаяся порода скатывается вниз. Это способствует проявлению различного рода нагрузок на крепь горных выработок, часто провоцируя их завалы [5, 6]. В связи с этим, учитывая слоистую структуру углепородного массива и перераспределение напряжений в нем, устойчивость откаточных штреков зависит от способа охраны.

При традиционном способе охраны откаточных штреков целиками угля не обеспечивается надежная защита выработок от вредных проявлений горного давления [7, 8]. Причины, лежащие в основе сложившейся ситуации, прежде всего связаны с увеличением глубины горных работ, ухудшением горно-геологических условий и интенсификацией проявлений горного давления. Обеспечение устойчивости откаточных штреков в течение всего срока их службы является одним из условий гарантии высоких показателей угледобычи. Поэтому для сохранности участков выработок в эксплуатационном состоянии важную роль играет способ охраны, а также свойства и параметры охранных сооружений, возводимых над откаточным штреком.

В связи с этим, *объектом исследований* являются процессы обеспечения устойчивости боковых пород в откаточных штреках при разработке угольных пластов крутого падения. *А целью исследований* заключается в обосновании условий обеспечения устойчивости откаточных штреков при разработке пластов крутого падения.

2. Методика проведения исследований

Исследование проявлений горного давления на контуре выработки и условия ее поддержания в зоне влияния очистных работ по длине выемочного участка,

выполнены на примере откаточного штрека пласта l_3 горизонта 1146 м шахты «Центральная» Государственное предприятие «Торецкуголь» (г. Торецк, Украина).

Эксперименты по изучению проявлений горного давления на контуре откаточного штрека при способе охраны накатными кострами из деревянных шпал или целиками угля были выполнены на замерных станциях, расположенных на экспериментальном участке длиной $l=100$ м (рис. 1).

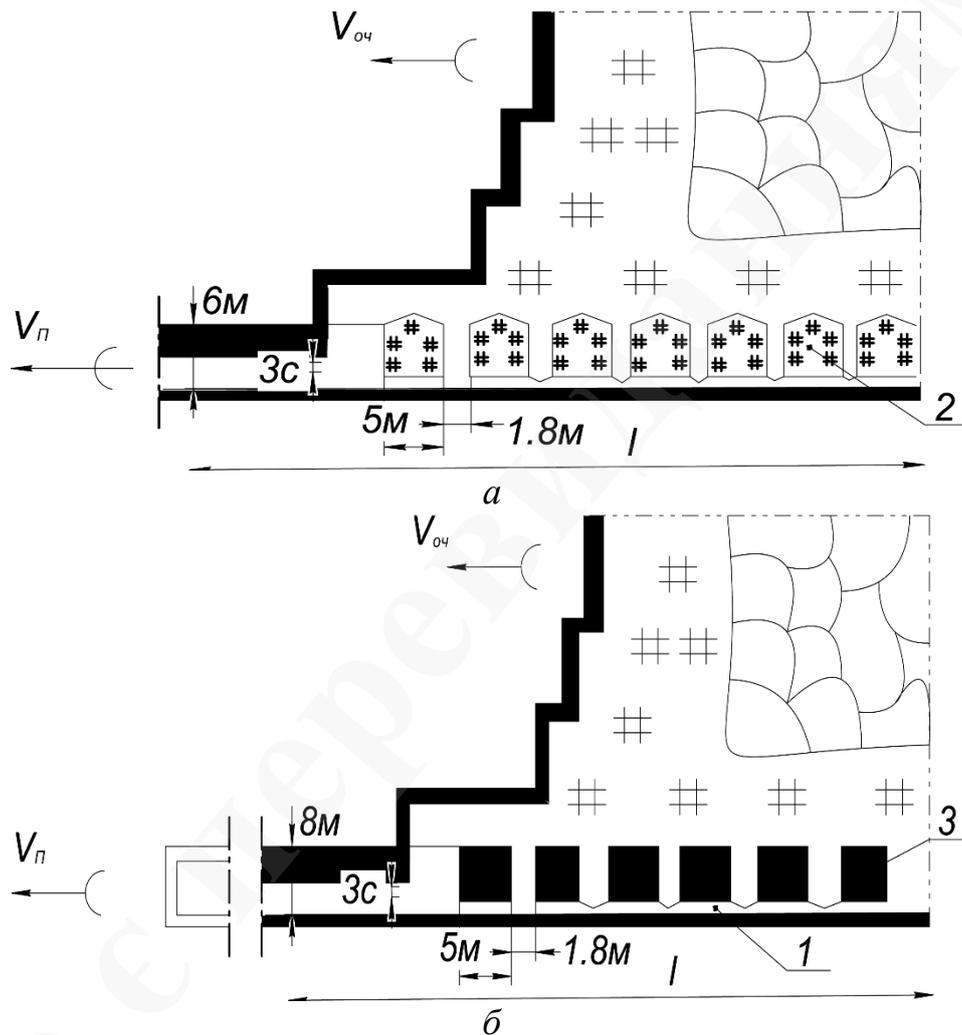


Рис. 1. Схема экспериментальных участков для определения смещений боковых пород на контуре откаточного штрека и изменения его площади поперечного сечения: *а* – при способе охраны накатными кострами из деревянных шпал; *б* – при способе охраны целиками угля; $3c$ – замерная станция; l – длина экспериментального участка, м; V_n , $V_{оч}$ – скорость проведения штрека и очистных работ (м/мес); 1 – откаточный штрек; 2 – накатные костры из деревянных шпал; 3 – целики угля

На замерной станции определялась величина смещения боковых пород на контуре подготовительной выработки, с помощью специальной маркшейдерской рулетки. Для этого фиксировали величину сближения реперов 1, 2 и 3 на контуре откаточного штрека, по характерным для крутого падения направлениям. Погрешность замеров составляла ± 2 мм. Схема замерной станции представлена на рис. 2.

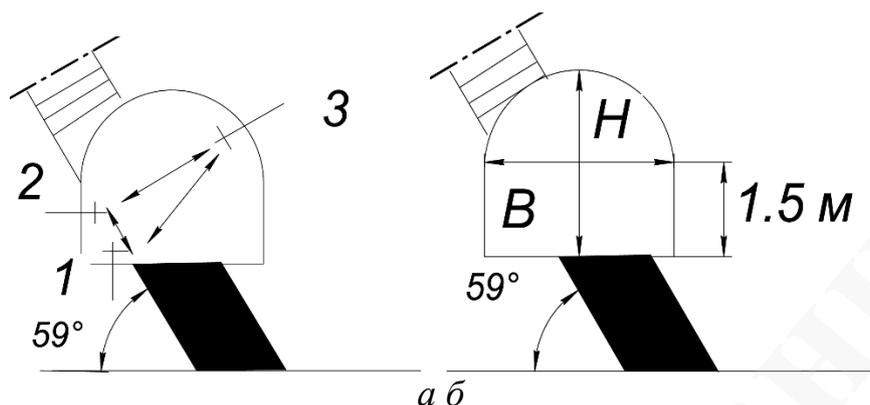


Рис. 2. Схема замерных станций для: *а* – определения смещения боковых пород на контуре откаточного штрека; *б* – измерений площади поперечного сечения выработки по длине выемочного участка: 1, 2, 3 – репера; 1–3; 1–2; 2–3 – сближения реперов 1, 2 в направлении репера 3; *H* – высота выработки, м; *B* – ширина выработки, м

Натурный эксперимент проводили в откаточном штреке пласта l_3 Мазурка горизонта 1146 м. Выработку охраняли накатными кострами из деревянных шпал. Затем, через некоторое время, из-за технологических и экономических соображений, способ охраны изменили на целики угля. Размер целиков угля $h_{ц}=8$ м; $l_{ц}=5$ м, где $h_{ц}$, $l_{ц}$ – соответственно, высота и длина целика угля. Площадь поперечного сечения штрека $S=8.5$ м², расстояние между рамами арочной податливой крепи (АП-3) с деревянной затяжкой 0.8 м. Скорость проведения подготовительной выработки $V_n=16$ м/мес, скорость очистных работ $V_{оч}=10$ м/мес. Штрек проводился с помощью буровзрывных работ (БВР). Способ управления кровлей в лаве-полное обрушение.

Характеристика угольного пласта l_3 и боковых пород представлена в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика угольного пласта l_3 и боковых пород на экспериментальном участке

Мощность m , м	Угол падения α , град	Модуль упругости E , Н/м ²	Боковые породы	
			Кровля	Почва
1.05–1.1	59°	$0.35 \cdot 10^{10}$	Глинистый сланец мощностью до $m=4.0$ м; сланец песчаный, мощностью до $m=7.0$ м	Глинистый сланец мощностью до $m=15.0$ м

Для оценки условий поддержания откаточного штрека при разных способах охраны применялся «экспресс-метод», когда на замерных станциях производились измерения площади поперечного сечения выработки S (м^2) по длине экспериментального участка. На этот случай, позади очистного забоя выполнялись замеры ширины B (м) и высоты H (м) откаточного штрека. Схема замеров представлена на рис. 2.

3. Результаты исследований и обсуждение

На рис. 3 представлены графики смещений боковых пород U (мм) на контуре откаточного штрека пласта l_3 по длине выемочного участка l (м) при разных способах охраны.

В результате выполненных исследований установлено, что наибольшие смещения пород зафиксированы по реперам 1–3 и 2–3 (рис. 3), которые отображают смещения пород кровли по длине выемочного участка. Перемещения пород кровли, в зоне влияния очистных работ, характеризуются послынным изгибом с последующим разрушением и высыпанием в выработку. На расстоянии $l=100$ м позади очистного забоя смещения пород по реперам 1–3 составили $U_{1-3}=390$ мм при охране деревянными конструкциями (рис. 3, а) и $U_{1-3}=520$ мм при использовании целиков угля (рис. 3, б). Отмечено, что наиболее сложные условия поддержания откаточных штреков в зоне влияния очистных работ формируются при применении целиков угля.

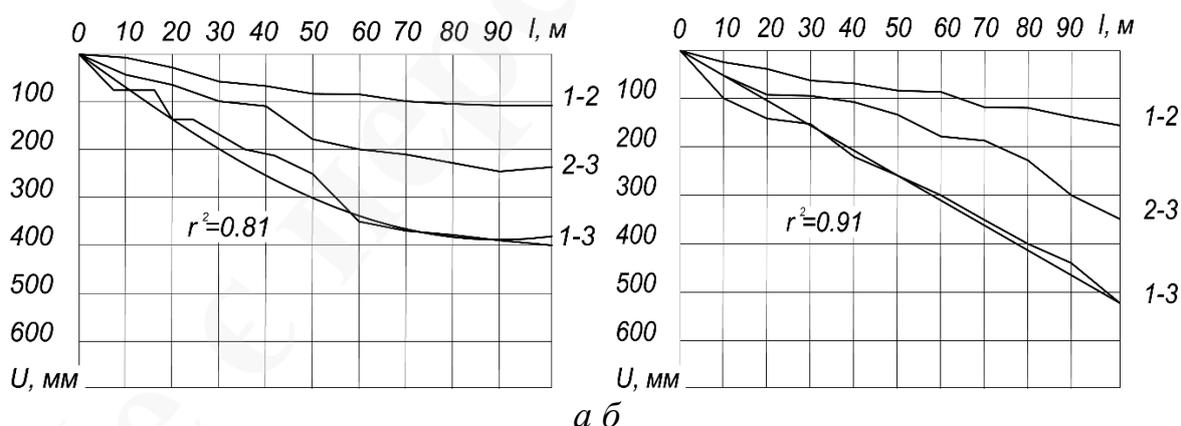


Рис. 3. Графики смещений боковых пород U (мм) на контуре откаточного штрека пласта l_3 по длине выемочного участка l (м):

- а – при способе охраны накатными кострами из деревянных шпал;
- б – при способе охраны целиками угля

Для того, чтобы оценить условия поддержания откаточных штреков на выемочном участке фиксировали изменение площади поперечного сечения выработки по мере продвижения очистного забоя, когда определялась величина потерь площади. Так, при охране выработки деревянными конструкциями сечение откаточного штрека на расстоянии $l=100$ м уменьшилось на 32 % до $S=5.8$ м^2 (рис. 4, зависимость 1). При охране штрека целиками угля его сечение уменьшилось до $S=4.1$ м^2 на расстоянии $l=100$ м позади очистного забоя, что составило потерю в 50 % от первоначального значения (рис. 4, зависимость 2).

После обработки экспериментальных данных методами математической статистики [9, 10] было установлено, что смещения пород кровли U (мм) на контуре штрека по длине l (м) подчиняются линейной зависимости ($r^2=0.91$) при охране целиками угля. При охране деревянными конструкциями смещения кровли по длине выемочного участка подчиняются экспоненциальной зависимости ($r^2=0.81$), рис. 3.

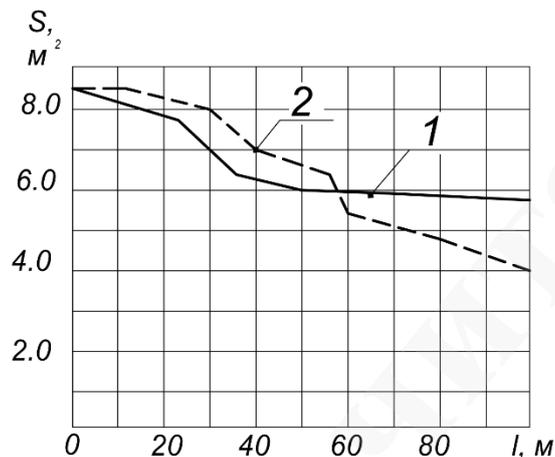


Рис. 4. Графики изменения площади поперечного сечения S (м²) откаточного штрека пласта l_3 по длине выемочного участка l (м): 1 – при охране деревянными накатными кострами; 2 – целиками угля

Анализ изученности проблемы устойчивости откаточных штреков при разных способах охраны указывает на то, что вопросы устойчивости используемых охранных сооружений и выработок, которые поддерживают в зоне влияния очистных работ, рассматривались отдельно. Для того, чтобы определить закономерности проявлений горного давления по длине подготовительной выработки при разных способах охраны и установить их влияние на устойчивость штреков, решение проблемы должно рассматриваться комплексно. Выбор эффективных способов охраны горных выработок, определяется достоверностью и надежностью проявлений горного давления в различные периоды эксплуатации откаточного штрека.

Согласно рекомендаций, изложенных в [11, 12], жесткость c (Н/м) охрannого сооружения определяется как:

$$c = \frac{E \cdot S}{\Delta h},$$

где E – модуль упругости, Н/м²;

S – площадь поперечного сечения, м²;

Δh – изменение высоты охрannого сооружения в результате конвергенции боковых пород (считаем, что $\Delta h = U_{1-3}$), м.

Нагрузку P (Н) на охрannое сооружение, расположенное над штреком, а значит и на крепь выработки, можно определить из закона Гука [13, 14], когда:

$$P = \frac{\Delta h}{h} \cdot E \cdot S,$$

где h – высота охранного сооружения (равна мощности угольного пласта), м.

На рис. 5 представлены графики изменения жесткости C (Н/м) охранных сооружений и величины нагрузки P (Н) на крепь откаточного штрека при разных способах охраны по длине выемочного участка l (м).

Установлено, что по мере продвижения очистного забоя, когда длина выемочного участка увеличивается, происходит уменьшение жесткости охранных сооружений (рис. 4, зависимость 1, 2). Одновременно с этим, нагрузка на крепь в откаточном штреке увеличивается (рис. 4, зависимость 3, 4). Между тем в условиях, когда выработка охраняется деревянными сооружениями, рост нагрузки происходит плавно, до величины $P=6.8 \cdot 10^9$ Н, а затем стабилизируется. Это объясняется сжатием охранного сооружения до максимальных значений $\Delta h/h=0.32$ (на расстоянии $l=60$ м), когда происходит стабилизация смещений боковых пород позади лавы (рис. 4, зависимость 1).

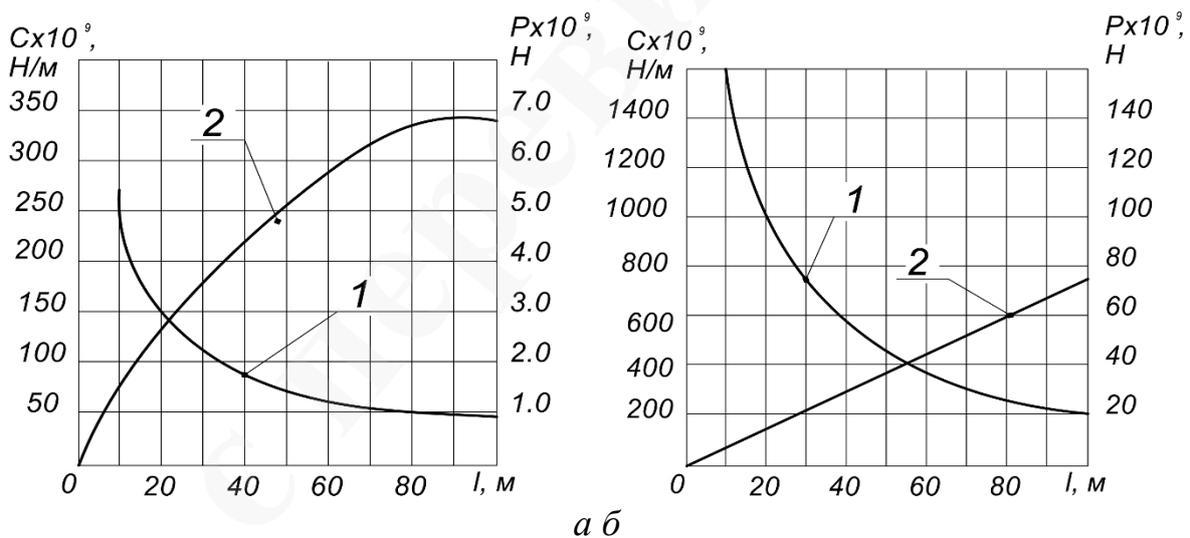


Рис. 5. Графики изменения жесткости c (Н/м) охранных сооружений и величины нагрузки P (Н) на крепь откаточного штрека по длине выемочного участка l (м): *а* – при охране деревянными сооружениями; *б* – при охране целиками угля; 1 – c (Н/м); 2 – P (Н)

При охране откаточного штрека целиками угля, при интенсивных смещениях кровли, наступает момент потери несущей способности целика. Раздавленный в целике уголь высыпается, конструкция не ограничивает смещения боковых пород, что способствует увеличению нагрузки на крепь. Угольный целик становится непригодным к эксплуатации, т. е. неустойчивым. При снижении жесткости целика на 80 %, нагрузка на крепь откаточного штрека увеличивается в 4,2 раза (рис. 4, зависимость 2).

Таким образом, в зоне влияния очистных работ деформации пород кровли достигают величин, превышающих конструктивную податливость крепи в

выработке ($U=390-520$ мм). В таких условиях, при отсутствии ограничения смещений боковых пород над штреком, сохранить его эксплуатационное состояние практически невозможно. Поэтому, при разработке крутых угольных пластов на больших глубинах для обеспечения эксплуатационного состояния откаточных штреков и уменьшения потерь угля на выемочном участке для охраны выработок целесообразно применение надштрековых податливых опор или закладки выработанного пространства. От жесткости и величины сжатия в процессе эксплуатации таких охранных сооружений зависят смещения боковых пород на контуре и нагрузка на крепь откаточного штрека.

4. Выводы

1. Специфика поддержания участков подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ обусловлена повышенной нарушенностью пород кровли и деформациями крепи. Установлено, что конвергенция боковых пород на контуре откаточного штрека подчиняется линейной зависимости при охране выработки целиками угля и экспоненциальной – при охране деревянными сооружениями.

2. Сохранение эксплуатационного состояния откаточных штреков обеспечивается в условиях, когда надштрековые охранные сооружения являются устойчивыми при разгрузке углепородного массива. Тогда, в результате сжатия, они отражают способность сопротивляться деформациям боковых пород и ограничивать их смещения в зоне влияния очистных работ.

Полученные результаты исследований можно использовать при обосновании выбора способа охраны участков подготовительных выработок при разработке крутых угольных пластов на больших глубинах.

Литература

1. Selezhen, A. L., Tomasov, A. G., Andrushko, V. F. (1977). *Podderzhanie podgotovitelnykh vyrobotok pri razrabotke krutykh plastov*. Moscow: Nedra, 205.

2. Hartman, H. L. (1987). *Introductory Mining Engineering*. Wiley-Interscience Publication, 622.

3. Koshelev, K. V., Petrenko, Iu. A., Novikov, A. O. (1990). *Okhrana i remont gornykh vyrobotok*. Moscow: Nedra, 256.

4. Liashok, Y., Iordanov, I., Chepiga, D., Podkopaiev, S. (2018). Experimental studies of the seam openings competence in different methods of protection under pitch and steep coal seams development. *Mining of Mineral Deposits*, 12 (4), 9–19. doi: <http://doi.org/10.15407/mining12.04.009>

5. Zhukov, V. E. (2001). Ob odnoi strategicheskoi oshibke v razreshenii problemy razrabotki krutykh plastov. *Ugol Ukrainy*, 7, 6–10.

6. Abzalov, M. (2016). *Applied Mining Geology*. Cham: Springer, 448. doi: <http://doi.org/10.1007/978-3-319-39264-6>

7. Iordanov I. V., Simonova Yu. I., Polozhy A. V., Podkopayev Ye. S., Skyrda A. Ye., Kayun A. P. (2020). A comprehensive study of the stability of lateral rocks with a supple support. *World Science*, 1 (1 (53)), 4–17. doi: http://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/31012020/6889

8. Bondarenko, V., Kovalevska, J., Ganushevych, K., Russkikh, V. (2014). *Basic concepts of minerals mining technology*. Dnipropetrovsk: Lizunoff Press, 428.
9. Abramovich, F., Ritov, Y. (2013). *Statistical Theory: A Concise Introduction*. Hoboken: CRC Press, 214.
10. Cox, D. R., Hinkley, D. V. (2017). *Theoretical statistics*. Boca Raton: CRC Press, 525.
11. Coman, C. D. (2020). *Continuum Mechanics and Linear Elasticity: An Applied Mathematics Introduction*. Springer, 528. doi: <http://doi.org/10.1007/978-94-024-1771-5>
12. Slaughter, W. S. (2002). *The Linearized Theory of Elasticity*. Springer Science + Business media, LLC, 556.
13. Bedford, A., Liechti, K. M. (2020). *Mechanics of Materials*. Springer, 1023. doi: <http://doi.org/10.1007/978-3-030-22082-2>
14. Philpot, T. A. (2012). *Mechanics of Materials: An Integrated Learning System*. Wiley, 1896.