

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КРЕПИ ВЫРАБОТОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ UNWEDGE НА РУДНИКАХ ЗФ ПАО «ГМК «НОРИЛЬСКИЙ НИКЕЛЬ»

М.А. Косырева¹, В.А. Еременко², Н.Н. Горбунова¹, А.А. Терешин¹

¹ Российский университет дружбы народов, Инженерная академия, Москва, Россия,
e-mail: marinkosyрева@gmail.com

² МГИ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия

Аннотация: Предложен и обоснован метод расчета параметров крепи горных выработок с использованием программы Unwedge на рудниках ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель». Данная программа позволяет быстро и качественно оценить устойчивость кровли и боков горных выработок и сопряжений, квалифицированно составить паспорт крепления, как для всей выработки, так и для каждого отдельного участка с учетом изменяющихся горно-геологических и горнотехнических условий, что обеспечивает безопасность и повышает эффективность горных работ. Рассмотрены два примера: первый — произошел случай обрушения кровли на «Холбинском» руднике по системам трещин в подготовительной выработке, так как изначально не проводилась количественная оценка состояния массива, не учтены системы трещин, масштабы породных клиньев, контактные условия трещин и др.; второй — на руднике «Октябрьский» спроектированы параметры крепи для выработки, проходимой на участке породного массива заезда РШ 1/6-2, с использованием программы Unwedge. Выработка крепилась с учетом полученных параметров. Рассчитаны коэффициенты запаса устойчивости каждого клина со значениями больше двух, что согласуется с нормативной документацией Российской Федерации и прогнозирует устойчивость выработки в процессе ее эксплуатации с минимальными рисками обрушения горных пород.

Ключевые слова: крепь, параметры крепления, коэффициент запаса устойчивости, породные клинья, системы трещин, выработка, анкер, торкретбетон, сетка, программа Unwedge, калибровка модели.

Для цитирования: Косырева М. А., Еременко В. А., Горбунова Н. Н., Терешин А. А. Расчет параметров крепи выработок с использованием программы Unwedge на рудниках ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 8. – С.57–64. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-08-0-57-64.

Support design using Unwedge software for mines of Nornickel's Polar Division

М.А. Kosyрева¹, В.А. Eremenko², N.N. Gorbunova¹, А.А. Tereshin¹

¹ Peoples' Friendship University of Russia, Engineering Academy, Moscow, Russia,
e-mail: marinkosyрева@gmail.com

² Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia

Abstract: The method of support design using Unwedge software is proposed and substantiated for mines of Nornickel's Polar Division. The software allows rapid and qualitative stability analysis for roofs and sidewalls in underground excavations, as well as enables competent failure envelope plotting for an excavation or its area with regard to varying geological and geotechnical conditions,

which improves safety and efficiency of mining. The article discusses two case-studies. The first event is roof fall along the system of joints in a development drive in the Kholbin Mine. In that case, the quantitative assessment of rock mass quality was never undertaken, thus, the systems of joints, sizes of wedges, contact conditions of joints, etc. were neglected. The second case describes the support design using Unwedge software for an excavation driven in rock mass of ramp RSH1/6-2 in the Oktyabrsky Mine. The excavation was supported as per the Unwedge design. The calculated safety factors for each rock wedge are higher than 2, which complies with Russian regulatory documents. The excavation stability is predicted for the operational period at the minimum risk of rock falls.

Key words: support, support design, stability factor, rock wedges, systems of joints, excavation, rock bolt, shotcrete, mesh, Unwedge software, model calibration.

For citation: Kosyreva M. A., Eremenko V. A., Gorbunova N. N., Tereshin A. A. Support design using Unwedge software for mines of Nor Nickel's Polar Division. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(8):57-64. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-08-0-57-64.

Введение

Для подземных рудников Заполярного филиала ПАО «ГМК «Норильский никель» разработаны рекомендации и Инструкция по выбору типа и параметров крепи капитальных, подготовительных, нарезных и очистных выработок в предельно напряженном или ослабленном блочном массиве, которая используется при проектировании, строительстве и эксплуатации выработок рудников Талнаха («Октябрьский», «Таймырский», «Маяк», «Комсомольский» и «Скалистый») [1–4].

Инструкция распространяется на проектирование крепления выработок, проходимых в зонах повышенных тектонических напряжений, в т.ч. ослабленного блочного массива, а также содержит в себе основные конструктивные и технологические требования к возводимым крепям с учетом изменчивости горно-геологических и горнотехнических условий, осложняющих прогнозирование состояния пород при строительстве выработок.

Тип крепи выработок согласно Инструкции принимается в зависимости от категории нарушенности массива. При выборе крепей предпочтение отдается наиболее современным и экономичным видам: анкерным различных типов, анкерным с сеткой или с армокаркасами, комбинированным и усиленным конструкциям.

В сложных горно-геологических условиях, в условиях повышенного горного давления, обильного притока воды, повышенной трещиноватости пород, на сопряжениях выработок способ крепления корректируется с учетом проведения геотехнической и геомеханической оценки состояния массива и уточняется с использованием программы численного моделирования Map3D и программ Rocscience — Dips, RocData и Unwedge [5–8].

Программа Unwedge используется для анализа и 3D визуализации подземных выработок, пройденных в трещиноватых и структурно-нарушенных горных породах.

Программа рассчитывает коэффициент запаса устойчивости потенциально неустойчивых участков массива, а именно породных клиньев, формирующихся в кровле и боках горных выработок согласовано с природными системами трещин, и позволяет составить паспорт крепления с использованием различных типов анкеров и торкретбетона.

Оценка устойчивости кровли и боков выработки с использованием программы UNWEDGE

На рис. 1 представлен пример, рассмотренный при проведении геотехнического аудита на «Холбинском» руднике,



Рис. 1. Место обрушения кровли в подготовительной выработке на Холбинском руднике
Fig. 1. Roof fall in development drive in the Kholbin Mine

где произошел случай обрушения кровли по системам трещин в подготовительной выработке. На рассматриваемом участке рудника изначально не проводилась количественная оценка состояния массива, не учтены системы трещин, масштаб клиньев, контактные условия трещин и др.

После случая обрушения проведен ретроспективный анализ, количественная оценка состояния массива исследуемого участка, спроектирована модель выработки и сделан новый расчет параметров крепления с учетом этой оценки. Выработку повторно закрепили (рис. 2). В дальнейшем на данном участке крепление выработок осуществлялось согласно проведенным расчетам в программе Unwedge с учетом количественной оценки состояния массива и случаев обрушения кровли не зафиксировано.

На руднике «Октябрьский» спроектированы параметры крепи для выработки, проходимой на участке породного массива заезда РШ 1/6–2 с использованием программы Unwedge (рис. 3). Выработка крепилась с учетом полученных параметров.

По результатам количественной оценки состояния массива определены три системы трещин с углом падения и азимутом падения — $40^\circ/50^\circ$, $60^\circ/150^\circ$, $60^\circ/270^\circ$ и $70^\circ/190^\circ$. Выработка прой-



Рис. 2. Повторное крепление выработки анкерами и сеткой
Fig. 2. Second reinforcement of excavation with rock bolts and mesh

дена в условиях высокого горного давления в зоне влияния очистных работ на глубине 1300 м.

Полученные данные картирования массива горных пород вводились в программу Unwedge и согласно пересечения трещин в системах на контуре выработки в боках, кровле и почве определялись параметры формируемых породных клиньев.

Клинья формируются только пересечением трех систем трещин. При наличии большего количества систем требуется дополнительный анализ каждого сценария формирования клиньев. На примере, рассматриваемом в статье, при наличии четырех систем трещин получено четыре различных сценария положения клиньев. Проанализировать сценарии и выбрать наиболее оптимальный вариант можно двумя способами: 1) путем ручного перебора и самостоятельной оценки и анализа всех вариантов формирования клиньев; 2) с помощью встроенного в программу анализа комбинаций, где сравниваются все варианты по определяемым параметрам: коэффициенту запаса устойчивости, весу клиньев, их объему и глубине. Все комбинации сравнивались по двум параметрам: коэффициенту запаса устойчивости и объему клиньев, которые дают наиболее точную оценку при анализе всех

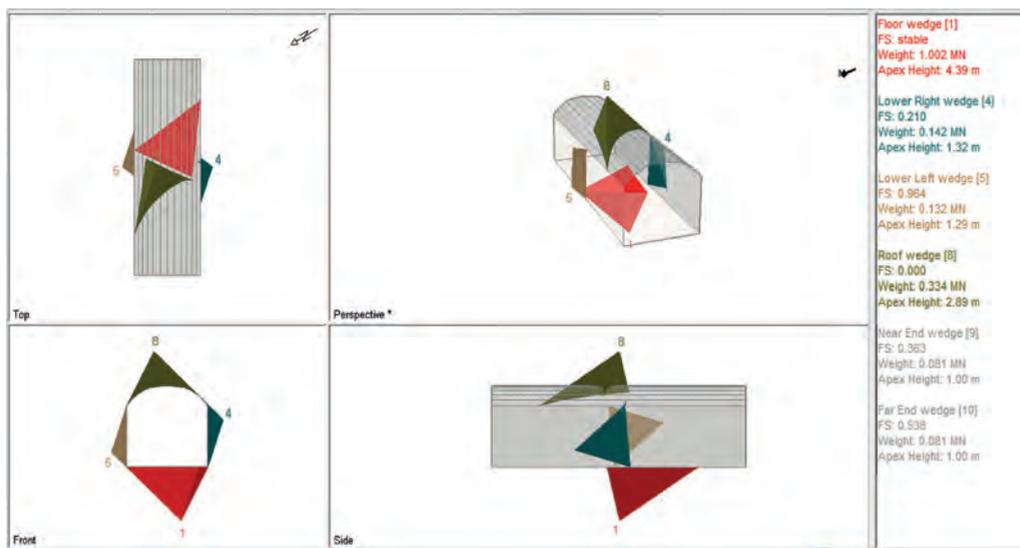


Рис. 3. Определение параметров породных клиньев на глубине 1300 м в боках, кровле и почве проектируемой выработки заезда РШ 1/6–2 на руднике «Октябрьский» ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» в программе Unwedge

Fig. 3. Determination of rock wedge parameters at a depth of 1300 m in sidewalls, roof and floor of project ramp RSH 1/6-2 in the Oktyabrsky Mine of Nor Nickel's Polar Division in Unwedge software

сценариев. В рассматриваемом случае выбран наиболее подходящий сценарий пересечения трех систем трещин — $40^\circ/50^\circ$, $60^\circ/150^\circ$ и $60^\circ/270^\circ$.

Одним из наиболее важных аспектов в процессе расчета параметров крепи выработки является калибровка проектируемой модели. Первоначально клинья вокруг выработки определяются максимально возможного размера, глубиной от обнажения выработки до 20–30 м. Для приведения размеров клиньев к фактическим необходимо масштабировать их согласно полученным результатам полевых измерений, таким как протяженность трещин, их системность, параметры трещиноватости и т.п. По опыту ведения горных работ породные клинья формируются глубиной от обнажения выработки не более 2–3 м.

Калибровка модели — это очень важный процесс, т.к. именно размер клиньев оказывает основное влияние на выбор параметров и схем крепления выработки, например, расположение и ориента-

цию анкеров, толщину, прочность торкретбетона и т.п.

Коэффициенты запаса устойчивости для каждого из клиньев рассчитываются автоматически при изменении входных данных и отображаются в видовом окне программы.

Выбор параметров крепи в программе UNWEDGE

Согласно параметрам крепи, которые представлены в разработанной Инструкции [1], в таблице «Уточненные параметры анкерной крепи», проектируемую выработку необходимо крепить самозакрепляющимися анкерами СЗА (зарубежный аналог SplitSet) длиной 1,8 м с сеткой анкерования $0,9 \times 0,9$ м по кровле и бокам и торкретбетоном по кровле и бокам толщиной не менее 50 мм. С учетом полученных данных картирования массива горных пород в натуральных условиях и анализа формирования породных клиньев в программе Unwedge длина анкера должна составлять не менее 2,4 м,

учитывая, что замковая часть анкера выходит за границы клина в массив на расстояние не менее 0,3–0,5 м.

Для расчета параметров крепления выработки в программе можно использовать торкретбетон и различные типы анкеров [9–15]:

- СЗА (самозакрепляющийся анкер);
- железобетонный анкер ЖБШ;
- сталеполимерный СПА;
- тросовый анкер;
- Swellex;
- проектируемый анкер, параметры которого настраиваются пользователем.

Независимо от того, что параметры всех типов анкеров уже заданы в программе, их можно изменять в зависимости от свойств проектируемого анкера.

В программе предлагается два способа установки анкеров: задается точный угол, относительно которого будут установлены анкера или с обозначенной точки бурения через точки установки анкеров [16]. Можно добавлять отдельно стоящие анкера в схему крепления в требуемых точках. При установке торкретбетона задаются его параметры — прочность на сдвиг, толщина и удельный вес.

После установки анкеров и торкретбетона коэффициенты запаса устойчивости каждого клина пересчитываются с учетом установленной крепи, если они оказались недостаточными по нормативным документам, можно изменить параметры крепи и откалибровать систему крепления.

Следует отметить, что программа показывает место просечения каждым анкером сформированного трещинами породного клина и вмещающего его массива горных пород, что дает возможность оценить дальнейший характер разрушения установленных анкеров в условиях существующих и предельных нагрузок (рис. 4).

На рис. 5 представлена закрепленная анкерами и торкретбетоном проек-

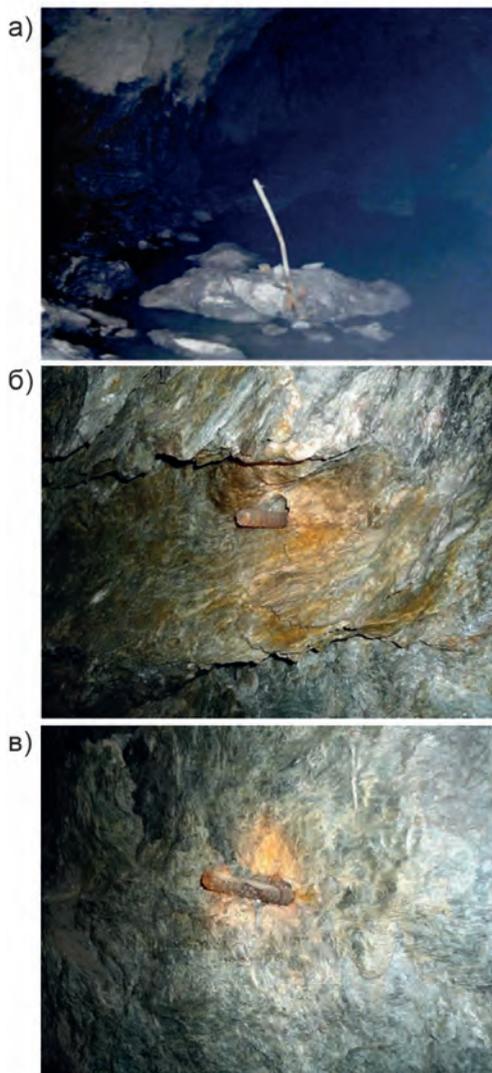


Рис. 4. Формы разрушения анкерной крепи: выдергивание анкера (а); обрыв анкера (б); обрыв опорной плитки (в)

Fig. 4. Damage of rock bolting: a—extrusion of bolt; b—breakage of bolt; c—breakage of base plate

тируемая выработка с проектируемыми и откалиброванными параметрами модели. Рассчитаны коэффициенты запаса устойчивости каждого клина со значениями больше двух, что согласуется с нормативной документацией Российской Федерации и прогнозирует устойчивость выработки в процессе ее эксплуатации

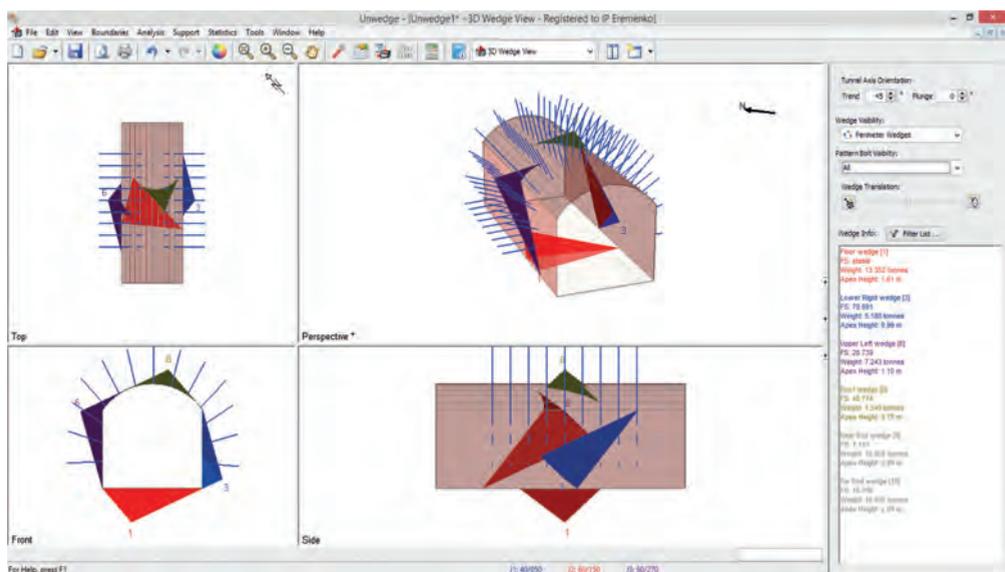


Рис. 5. Закрепленная анкерами и торкретбетоном выработка с проектируемыми и откалиброванными параметрами модели

Fig. 5. Rockbolting and shotcreting in excavation at the project and calibrated design parameters

с минимальными рисками обрушения горных пород.

Выводы

Предложен и обоснован метод расчета параметров крепи горных выработок с использованием программы Unwedge на рудниках ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель». Программа позволяет быстро и качественно оценить устойчивость кровли и боков горных выработок и сопряжений, квалифицированно составить паспорт крепления как для всей выработки, так и для каждого отдельного участка с учетом изменяющихся горно-геологических и горнотехнических условий, что

обеспечивает безопасность и повышает эффективность горных работ.

Для конкретного рассматриваемого в статье случая рекомендовано картируемый участок выработки крепить самозакрепляющимися анкерами СЗА длиной не менее 2,4 м с сеткой анкерования 0,9×0,9 м по кровле и бокам и торкретбетоном по кровле и бокам толщиной не менее 50 мм, учитывая, что замковая часть анкера выходит за границы клина в массив на расстояние не менее 0,3–0,5 м, а не длиной анкера 1,8 м, как изначально предлагается в Инструкции в таблице «Уточненные параметры анкерной крепи».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по выбору типа и параметров крепи капитальных, подготовительных, нарезных и очистных выработок в предельно напряженном (или ослабленном) блочном массиве рудников. — Норильск: ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель», 2018.
2. Рекомендации по креплению и поддержанию разведочных, подготовительных, нарезных и очистных выработок на рудниках «Октябрьский», «Таймырский», «Комсомольский» и «Заполярный». — Норильск: ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель», 2014.
3. Указания по безопасному ведению горных работ на Талнахском и Октябрьском месторождениях, склонных и опасных по горным ударам. — Норильск: ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель», 2015.

4. Еременко В. А., Айнбиндер И. И., Пацкевич П. Г., Бабкин Е. А. Оценка состояния массива горных пород на рудниках ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель» // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 1. — С. 5–17.
5. Louchnikov V. N., Eremenko V. A., Sandy M. P. Ground support liners for underground mines: energy absorption capacities and costs // *Eurasian Mining*. 2014. No 1.
6. Сидоров Д. В., Косухин Н. И., Шабаров А. Н. Оценка напряженного состояния рудного массива при ведении горных работ в зонах мелко-амплитудных тектонических нарушений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 12. — С. 142–148.
7. Мясков А. В. Современные эколого-экономические проблемы недропользования // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 2. — С. 157–160.
8. Timonin V. V., Kondratenko A. S. Process and measuring equipment transport in uncased boreholes // *J. Min. Sci.* 2015. Vol. 51, No 5, pp. 1056–1061.
9. Лушников В. Н., Еременко В. А., Сэнди М. П., Косырева М. А. Выбор анкерной крепи для выработок, пройденных в шахтах, склонных к горным ударам // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2017. — № 3. — С. 86–95.
10. Неугомонов С. С., Волков П. В., Жирнов А. А. Крепление слабоустойчивых пород усиленной комбинированной крепью на основе фрикционных анкеров типа СЗА // Горный журнал. — 2018. — № 2. — С. 31–34.
11. Калмыков В. Н., Волков П. В., Латкин В. В. Обоснование параметров сталеполлимерной анкерной крепи при проведении опытно-промышленных испытаний в условиях Сафьяновского подземного рудника // Актуальные проблемы горного дела. — 2016. — № 2. — С. 27–35.
12. Akram Mian Sohail, Zeeshan Muhammad Rock Mass Characterization and Support Assessment along Power Tunnel of Hydropower in Kohistan Area, KPK, Pakistan // *Journal of the geological society of India*. 2018. Vol. 92. No 2. pp. 221–226.
13. Kazem Oraee, Nikzad Orae, Arash Goodarzi Effect of discontinuities characteristics on coal mine stability and sustainability. A rock fall prediction approach // *International journal of mining science and technology*. 2016. Vol. 26. No 1. pp. 65–70.
14. Li Z., Gong H., Zhang Y., Li P. Fracture Development Law and Its Influence on the Stability of Surrounding Rock of a Power Station Underground Plant // *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*. 2018. Vol. 48. No 5. pp. 1574–1580.
15. Xiao H., Gong H., Liu W., Wang Y., Zhao K. Axis Direction Optimization of Underground Power Plant Under Complicated Fractured Rock Mass Environment // *Journal of Hunan University Natural Sciences*. 2018. Vol. 45. No 25. pp. 41–45.
16. Еременко В. А. Курсы подготовки геомехаников (геотехников), геологов и горных инженеров по программам Map3D и Rocscience (Dips, RocData, Unwedge) // Горный журнал. — 2018. — № 2. — 2 с. **ГИАБ**

REFERENCES

1. *Instruktsiya po vyboru tipa i parametrov krepri kapital'nykh, podgotovitel'nykh, nareznykh i ochistnykh vyrobotok v predel'no napryazhennom (ili oslablennom) blochnom massive rudnikov* [Guidelines on support design selection for permanent, development preparatory and stoping drives in mines in ultimate-stress (or weakened) block rock mass. Nornickel's Polar Division], Noril'sk, ZF ОАО «ГМК «Норильский никель», 2018. [In Russ].
2. *Rekomendatsii po krepneniyu i podderzhaniyu razvedochnykh, podgotovitel'nykh, nareznykh i ochistnykh vyrobotok na rudnikakh «Oktyabr'skiy», «Taymyrskiy», «Komsomol'skiy» i «Zapolyarnyy»* [Recommendations on support and reinforcement of permanent, development, preparatory and stoping drives in the Oktyabrsky, Tiamyrsky, Komsomolsky and Zapolyarny Mines], Noril'sk, ZF ОАО «ГМК «Норильский никель», 2014. [In Russ].
3. *Ukazaniya po bezopasnomu vedeniyu gornykh работ na Talnakhskom i Oktyabr'skom mestorozhdeniyakh, sklonnykh i opasnykh po gornym udaram* [Safety guides for rockburst-hazardous mining at the Talnakh and Oktyabrsky deposits], Noril'sk, ZF ОАО «ГМК «Норильский никель», 2015. [In Russ].
4. Eremenko V. A., Aynbinder I. I., Patskevich P. G., Babkin E. A. Rock mass assessment for mines of Nornickel's Polar Division. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 1, pp. 5–17. [In Russ].
5. Louchnikov V. N., Eremenko V. A., Sandy M. P. Ground support liners for underground mines: energy absorption capacities and costs. *Eurasian Mining*. 2014. No 1.

6. Sidorov D.V., Kosukhin N.I., Shabarov A.N. Assessment of ore body stress state in mining in small-amplitude tectonic faulting zones. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 12, pp. 142–148. [In Russ].

7. Myaskov A.V. Current ecological-and-economic problems of subsoil management. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 2, pp. 157–160. [In Russ].

8. Timonin V.V., Kondratenko A.S. Process and measuring equipment transport in uncased boreholes. *J. Min. Sci.* 2015. Vol. 51, No 5, pp. 1056–1061.

9. Lushnikov V.N., Eremenko V.A., Sendi M.P., Kosyreva M.A. Selection of rock bolting for excavations in rockburst-hazardous mines. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh.* 2017, no 3, pp. 86–95. [In Russ].

10. Neugomonov S.S., Volkov P.V., Zhirnov A.A. Composite reinforcement of unstable rock mass using friction-type rock bolts SZA. *Gornyy zhurnal.* 2018, no 2, pp. 31–34. [In Russ].

11. Kalmykov V.N., Volkov P.V., Latkin V.V. Substantiation of composite steel bar/polymer material rock bolting pattern for full-scale testing in the Safyanov Mine. *Aktual'nye problemy gornogo dela.* 2016, no 2, pp. 27–35. [In Russ].

12. Akram Mian Sohail, Zeeshan Muhammad Rock Mass Characterization and Support Assessment along Power Tunnel of Hydropower in Kohistan Area, KPK, Pakistan. *Journal of the geological society of India.* 2018. Vol. 92. No 2. pp. 221–226.

13. Kazem Oraee, Nikzad Orae, Arash Goodarzi Effect of discontinuities characteristics on coal mine stability and sustainability. A rock fall prediction approach. *International journal of mining science and technology.* 2016. Vol. 26. No 1. pp. 65–70.

14. Li Z., Gong H., Zhang Y., Li P. Fracture Development Law and Its Influence on the Stability of Surrounding Rock of a Power Station Underground Plant. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition).* 2018. Vol. 48. No 5. pp. 1574–1580.

15. Xiao H., Gong H., Liu W., Wang Y., Zhao K. Axis Direction Optimization of Underground Power Plant Under Complicated Fractured Rock Mass Environment. *Journal of Hunan University Natural Sciences.* 2018. Vol. 45. No 25. pp. 41–45.

16. Eremenko V.A. Training courses on Map3D and Rockscience (Dips, RocData, Unwedge) for geomechanics (geotechnologists), geologists and mining engineers. *Gornyy zhurnal.* 2018, no 2, 2 p. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Косырева Марина Александровна¹ – студентка, e-mail: marinkosyreva@gmail.com,

Еременко Виталий Андреевич – д-р техн. наук, профессор РАН, директор научно-исследовательского центра «Прикладная геомеханика и конвергентные горные технологии» МГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: prof.eremenko@gmail.com,

Горбунова Наталья Николаевна¹ – канд. техн. наук, доцент, e-mail: shedrinanata@mail.ru,

Терешин Александр Александрович¹ – канд. техн. наук, доцент, e-mail: tereshin_aa@rudn.ru,

¹ Российский университет дружбы народов, Инженерная академия.

Для контактов: Косырева М.А., e-mail: marinkosyreva@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

M.A. Kosyreva¹, Student, e-mail: marinkosyreva@gmail.com,

V.A. Eremenko, Dr. Sci. (Eng.), Professor of Russian Academy of Sciences, Director of the Research Center «Application of Geomechanics and Mining of Convergent Technologies», Mining Institute, National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia, e-mail: prof.eremenko@gmail.com,

N.N. Gorbunova¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: shedrinanata@mail.ru,

A.A. Tereshin¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: tereshin_aa@rudn.ru,

¹ Peoples' Friendship University of Russia, Engineering Academy, 117198, Moscow, Russia.

Corresponding author: M.A. Kosyreva, e-mail: marinkosyreva@gmail.com.