

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ СТВОЛА № 2 РУДНИКА 1 РУП «ПО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ» НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Прушак В.Я.¹, Диулин Д.А.², Гегедеш М.Г.³

¹ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством»,
Солигорск;

²ОАО «Трест Шахтоспецстрой», Солигорск;

³Белорусский государственный университет транспорта, Гомель

Ключевые слова: вертикальный ствол шахты, давление горных пород, напряженно-деформированное состояние, компьютерное моделирование.

Аннотация. В статье представлены результаты компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния участков крепи ствола № 2 рудника 1 РУ РУП «ПО "Беларуськалий"», основой для расчета которого стали результаты обследования состояния крепи. Компьютерное моделирование нагружения участков вертикального шахтного ствола, на которых наблюдаются наиболее проблемные участки, выполнено с использованием модуля Static Structural инженерного программного комплекса ANSYS Workbench. Получены диаграммы распределения напряжений в продольном и поперечном направлениях, а также эквивалентных по Мизесу напряжений в чугунной крепи вертикального ствола шахты для проектных и остаточных значений толщин чугунного тюбинга. Предложены рекомендации по дальнейшей эксплуатации ствола шахты.

EVALUATION OF THE SHAFT NO. 2 OF MINE 1 RUE "PA "BELARUSKALII" STRENGTH BASED ON COMPUTER SIMULATION

Prushak V.Ya.¹, Dziulin D.A.², Gegedesh M.G.³

¹JSC "Soligorsk Institute of Resources Saving Problems with Pilot Production", Soligorsk;

²JSC "Trest Shahtospetsstroy", Soligorsk;

³Belarusian State University of Transport, Gomel

Keywords: vertical mine shaft, rock pressure, stress-strain state, computer simulation.

Abstract. The paper presents the computer modeling results for the stress-strain state of the lining sections of the shaft No. 2 of mine 1 of the Republican unitary enterprise "PA"Belaruskalii", the basis for the calculation were the results of investigation of the mine lining condition. Computer modeling of vertical mine shaft sections loading was performed for the most problematic sections on the base of the Static Structural component of the ANSYS Workbench engineering software package. Diagrams of stress distribution in the longitudinal and lateral directions, as well as von Mises equivalent stresses in the vertical mine shaft cast-iron lining are obtained for the design and residual values of the cast-iron tubing thickness. Recommendations for the further operation of the mine shaft are proposed.

Введение. Прочность и устойчивость вертикальных стволов шахт является ключевой проблемой их эксплуатации и зависит от механических свойств окружающих выработку горных пород, параметров надежности и прочности бетонной и чугунной крепи [1], поскольку нарушение нормальной эксплуатации подобных подземных сооружений влечет за собой остановку работы предприятия. Одна из основных задач анализа стабильности ствола шахты заключается в оценке несущей способности крепи ствола, выполненной на основе анализа напряженно-деформированного состояния (далее НДС) ствола шахты.

Многими авторами проводились аналитические, например, в [2-4], и численные [5, 6] расчеты устойчивости и прочности подземных сооружений различного назначения. При этом в большинстве работ отмечен тот факт, что для каждой конструкции имеется конкретное решение, которое не может применяться в качестве обобщенного варианта для других систем.

Цель представленной работы заключается в оценке несущей способности ствола № 2 рудника 1 РУ Солигорского месторождения калийной соли на основе результатов обследования состояния крепи [7].

Материалы и методы исследований. Геометрические параметры шахтного ствола, а также перечень наименований породных массивов, окружающих выработку, взяты из [7], параметры нагружения ствола шахты рассчитаны в [8]. Анализ НДС крепи шахт выполнен с использованием подпакета Static Structural инженерного комплекса ANSYS Workbench.

В соответствии с [7] крепление верхней части ствола с отметки 3,385 м до отметки 415,0 м выполнено усиленными чугунными тюбингами шахтного типа с толщиной стенки от 40 до 70 мм с заполнением затюбингового пространства бетоном марки М150. При обследовании [7] выявлено, что степень коррозии тюбинговой крепи ствола уменьшается в направлении от устья в сторону зумпфа. Наиболее интенсивная коррозия наблюдается в верхней части тюбинговой колонны на участке между 2-30 ярусами армировки (рис. 1), а также в местах просачивания рассолов на стыках тюбингов и пикотажных швов на участках между ярусами 35-47 и 52-63 (рис. 2), что выражается в разрушении на 30-40% от первоначального размера ребер жесткости, стенок тюбингов, а также болтов, скрепляющих тюбинги между собой. Поэтому моделирование НДС выполнялось для участков ствола с 1 по 30 и с 35 по 62 ярусы.

При моделировании статического нагружения ствола № 2 рудника 1 РУ использованы следующие характеристики материалов крепи [9, 10]: плотности материалов: $\rho_{\text{бетонМ150}} = 2000 \text{ кг/м}^3$; $\rho_{\text{чугун}} = 7000 \text{ кг/м}^3$; модули упругости материалов: $E_{\text{бетонМ150}} = 19 \text{ МПа}$; $E_{\text{чугун}} = 11,6 \cdot 10^4 \text{ МПа}$; коэффициенты Пуассона для материалов: $\mu_{\text{бетон150}} = 0,2$; $\mu_{\text{чугун}} = 0,22$.

На рисунке 3 приведены разработанные модели исследуемых участков ствола. Параметры давления окружающих горных пород на часть ствола взяты из [8]. Расчеты выполнялись для проектных значений толщин тюбингов и значений, составляющих 60% от исходной толщины в соответствии с результатами обследования ствола шахты, приведенными в [7]. Для участка с 35 по 62 ярусы учтено давление от веса верхней части ствола (6,59 МПа от тюбинга и 1,89 кПа от затюбинговой крепи).

Результаты моделирования. Как показали результаты расчета НДС вертикального ствола шахты на участке с 1 по 30 ярусы, при уменьшении толщины тюбинга на 40% максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу возрасли более, чем на 50%. Сжимающие напряжения в продольном направлении ствола увеличились на 98,8%, а в поперечном направлении – на 42,7%, при этом они не превышают допустимых для чугуна значений (рисунок 4).

Результаты расчета НДС для проектных и реальных толщин тюбингов на участке с 35 по 62 ярусы ствола № 2 рудника 1 РУ приведены на рисунке 5 и демонстрируют, что при уменьшении толщины тюбинга на 40% максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу в чугунной крепи возрасли на 127,78% и достигают 205,81 МПа, однако большая часть конструкции испытывает напряжения, в среднем равные 120 МПа, что не превышает максимальных значений для чугуна.

Сжимающие напряжения в продольном направлении ствола увеличились на 155%, а в поперечном направлении – на 159,98%, при этом они не превышают допустимых для чугуна значений.

Выводы

1. В конструкции ствола 2 рудника 1 РУ есть несколько локаций, которые требуют пристального внимания, поскольку толщина стенок чугунного тюбинга существенно уменьшилась.

2. На первом рассматриваемом участке (ярусы 1-30) при уменьшении толщины тюбинга на 40% максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу увеличились более, чем на 50%. Сжимающие напряжения в продольном направлении ствола увеличились на 98,8%, а в поперечном направлении – на 42,7%, при этом они не превышают допустимых для чугуна значений.

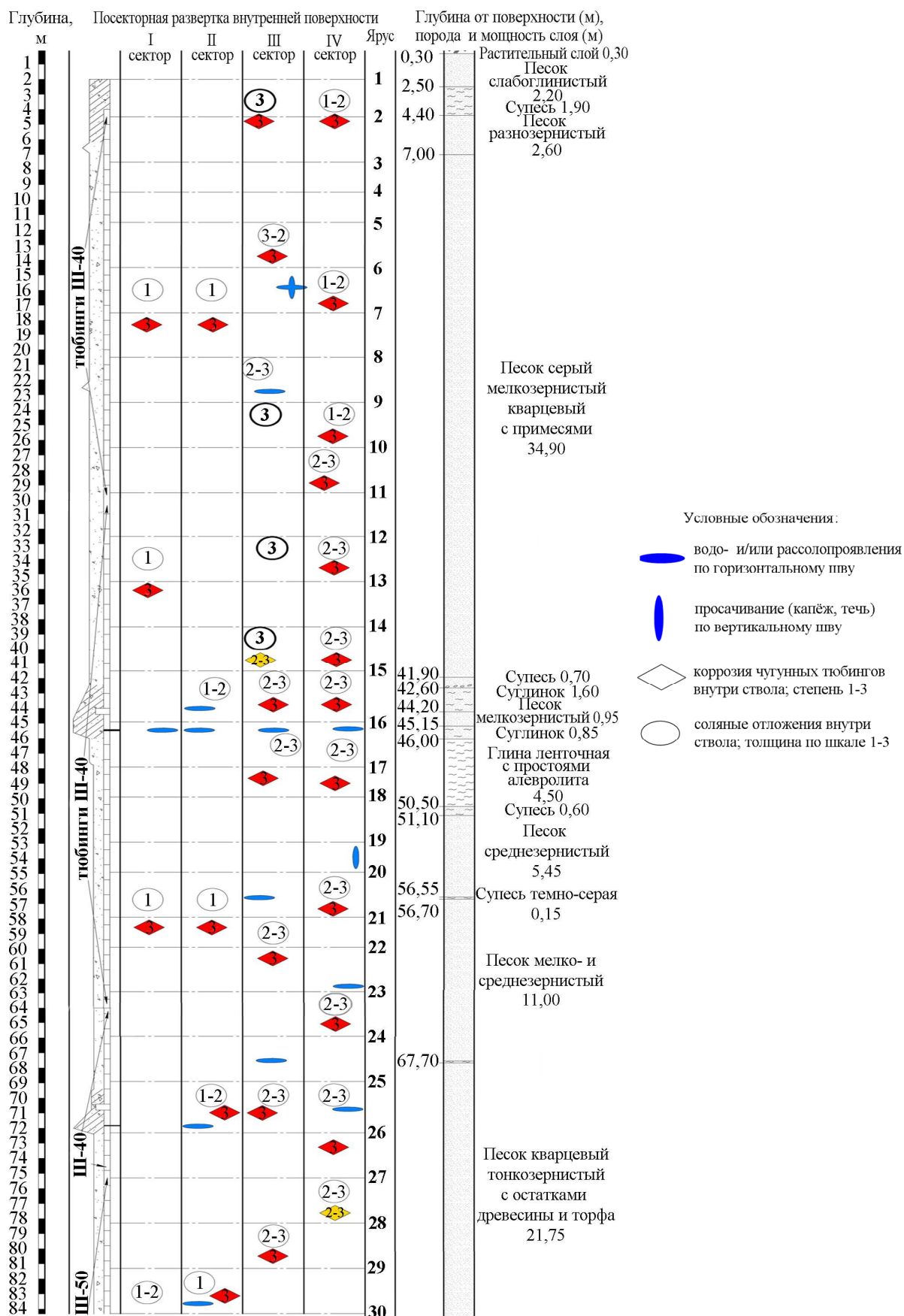
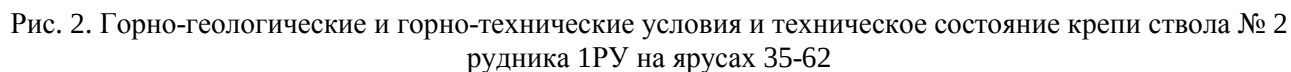


Рис. 1. Горно-геологические и горно-технические условия и техническое состояние крепи ствола № 2 рудника 1РУ на ярусах 1-30



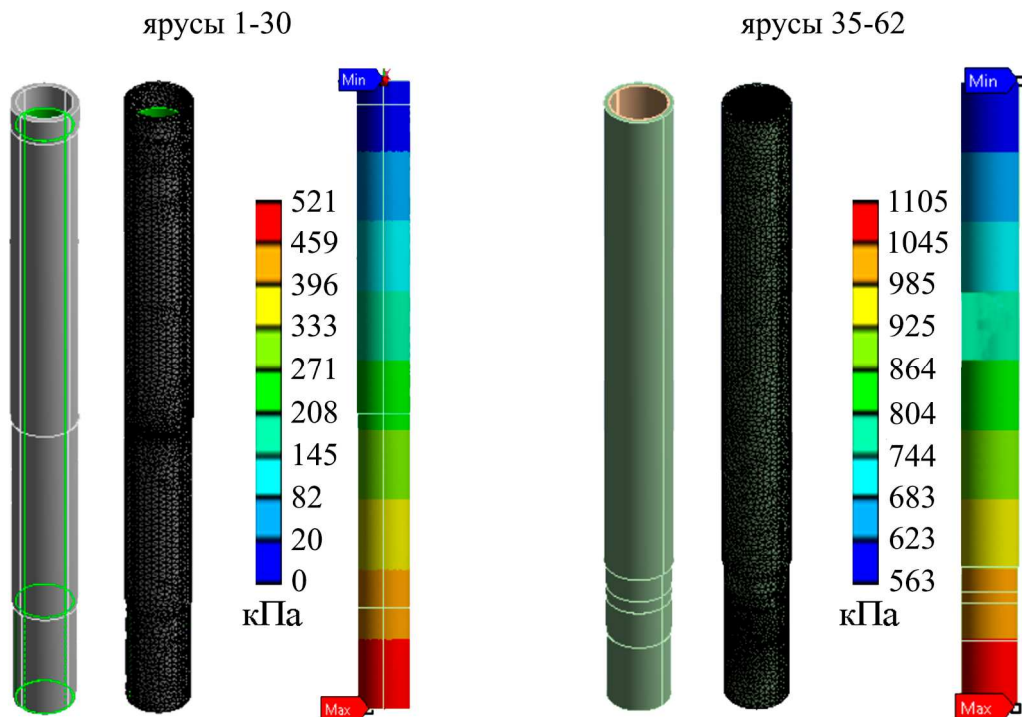


Рис. 3. Геометрические и конечно элементные модели частей ствола №2 рудника 1 РУ шахт и схемы их бокового нагружения

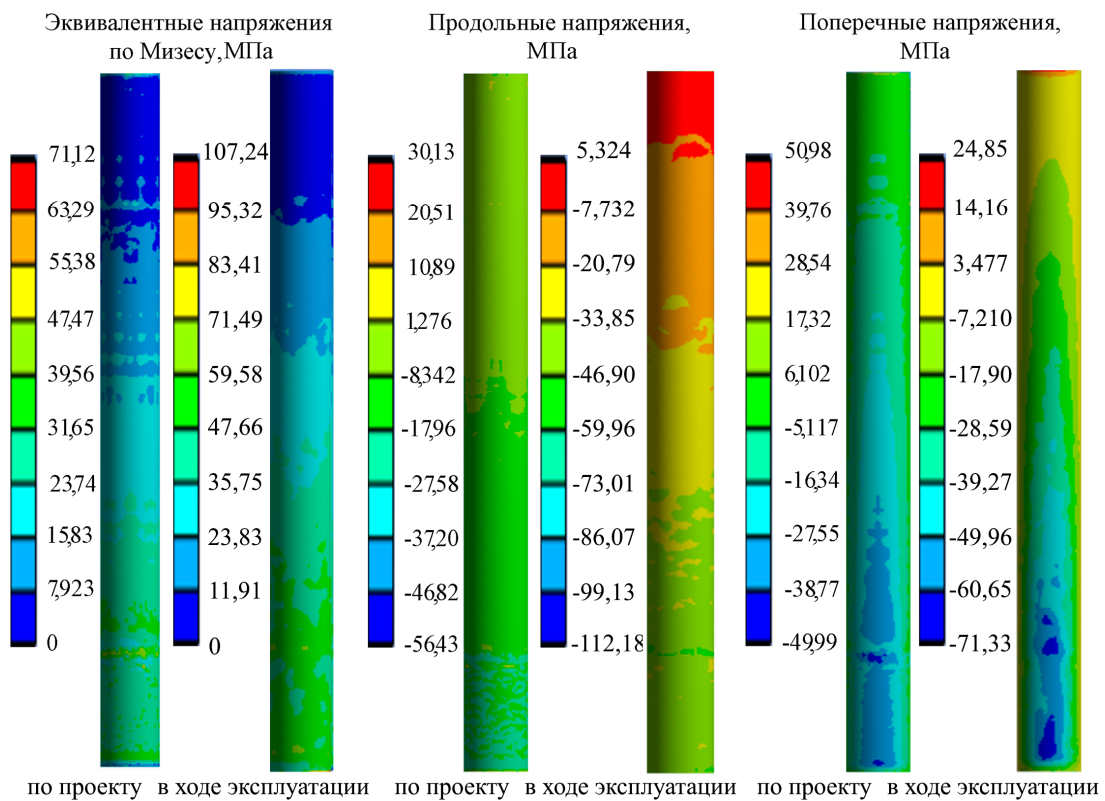


Рис. 4. Результаты расчета НДС тюбинга ствола № 2 рудника 1 РУ для проектных и эксплуатационных значений толщин чугунного тюбинга на 1-30 ярусах армировки

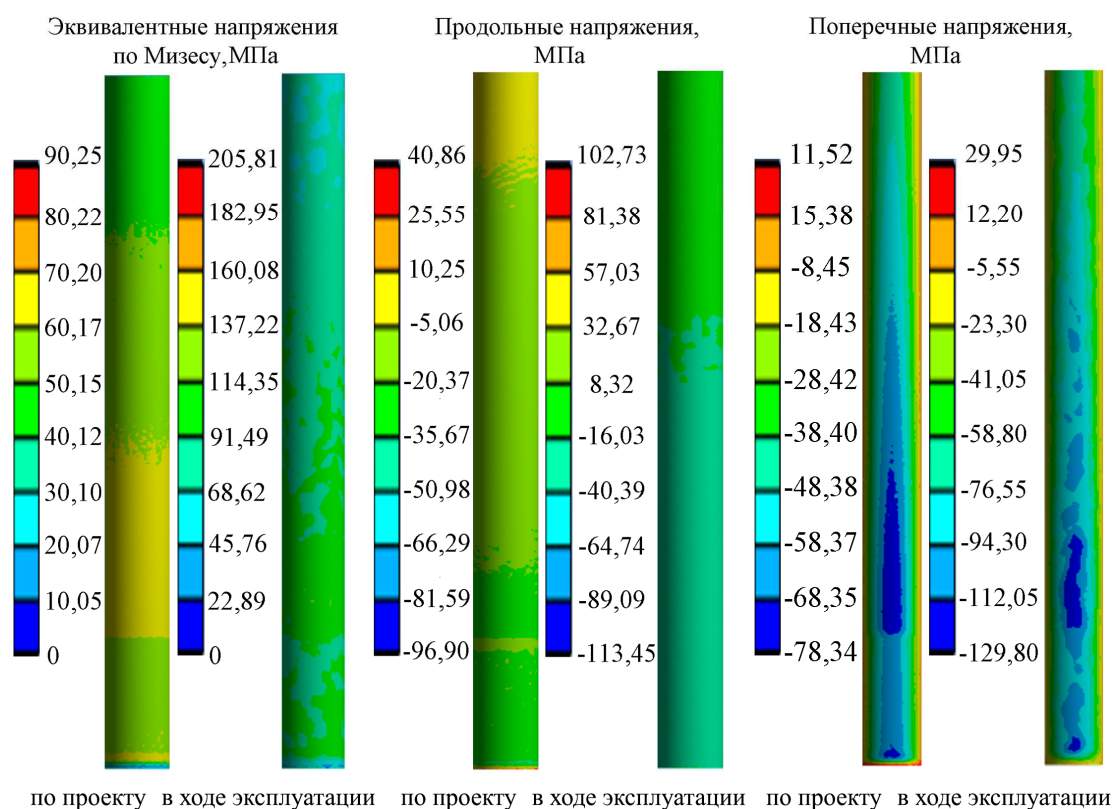


Рис. 5. Результаты расчета НДС тюбинга ствола № 2 рудника 1 РУ для проектных и эксплуатационных значений толщин чугуного тюбинга на 35-62 ярусах армировки

Выводы (продолжение)

3. На втором рассматриваемом участке (ярусы 35-62) при уменьшении толщины тюбинга на 40% максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу увеличились на 127,78% и достигли 205,81 МПа, однако большая часть конструкции испытывает напряжения, в среднем равные 120 МПа, что не превышает максимальных значений для чугуна. Сжимающие напряжения в продольном направлении ствола увеличились на 155%, а в поперечном направлении – на 159,98%, при этом они не превышают допускаемых для чугуна значений.

На основании вышеизложенного рекомендуется проводить мероприятия по укреплению чугуного тюбинга, а также по выявлению остаточной толщины бетонной крепи в местах истонченного тюбинга для снижения вероятности возникновения аварийной ситуации на шахте.

Список литературы

1. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений: учеб. для вузов. – М.: Недра, 1994. – 382 с.
2. Лисковец А.С., Тацienко В.П. Анализ способов крепления, тампонажа закрепного пространства горных выработок и методов расчета взаимодействия крепи с массивом горных пород // Техника. – 2021. – № 1. – С. 27-52.
3. Yang Sheng-Qi, Chen Miao, Jing Hong-Wen, Kunfu Chen, Meng Bo. A case study on large deformation failure mechanism of deep soft rock roadway in Xin'An coal mine, China // Engineering Geology. 2017, vol. 217, pp. 89-101. DOI: 10.1016/j.enggeo.2016.12.012.
4. Zhao Guangsi, Ren Minghui, Qiu Xianhao, Xue Qinghua. The Unified Strength Theory for Plastic Limit Load Analysis of Vertical Shaft Lining // Advances in Civil Engineering. 2018, pp. 1-6. DOI: 10.1155/2018/1949324.
5. Пашкова О.В. Обоснование технических и технологических решений по сооружению пристольных выработок в пройденных вертикальных стволах: дисс. ... канд. техн. наук. – Новочеркасск, 2015. – 145 с.
6. Sun X., Li G., Zhao C., Liu Y., Miao C. Investigation of deep mine shaft stability in alternating hard and soft rock strata using three-dimensional numerical modeling // Processes. 2019, 7, 2. DOI: 10.3390/PR7010002.
7. Выполнить анализ результатов проведенных обследований крепи стволов, оценить необходимость и объемы геофизических работ на деформированных участках: отчет о НИР (промежут. по дог. № 899.С.2009,

- этап 1.4) / ОАО «Белгорхимпром»; рук. А.М. Ефимов; исполн.: Кафанова Т.П. и др. – Минск, 2009. – 42 с. – № ГР 20092386.
8. Диулин Д.А. Оценка напряженно-деформированного состояния крепи вертикальных шахтных стволов Старобинского месторождения калийных солей // Горная механика и машиностроение. – 2021. – № 4. – С. 22-28.
 9. Байер В.Е. Строительные материалы: учебник. – М.: Архитектура-С, 2004. – 240 с.
 10. Руднов В.С., Владимирова Е.В., Доманская И.К., Герасимова Е.С. Строительные материалы и изделия: учеб. пособие. – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2018. – 203 с.

References

1. Bulychhev N.S. Mechanics of underground structures: book for universities. – M.: Nedra, 1994. – 382 p.
2. Liskovets A.S., Tatsienko V.P. Analysis of support and tamping methods of the behind-anchoring space of mine workings and methods for calculating the interaction of the support with the rock massif // Technics. 2021, no. 1, pp. 27-52.
3. Yang Sheng-Qi, Chen Miao, Jing Hong-Wen, Kunfu Chen, Meng Bo. A case study on large deformation failure mechanism of deep soft rock roadway in Xin'An coal mine, China // Engineering Geology. 2017, vol. 217, pp. 89-101. DOI: 10.1016/j.enggeo.2016.12.012.
4. Zhao Guangsi, Ren Minghui, Qiu Xianhao, Xue Qinghua. The Unified Strength Theory for Plastic Limit Load Analysis of Vertical Shaft Lining // Advances in Civil Engineering. 2018, pp. 1-6. DOI: 10.1155/2018/1949324.
5. Pashkova O.V. Substantiation of technical and technological solutions for the construction of shaft workings in the passed vertical shafts: diss. ... cand. tech. sc. – Novocherkassk, 2015. – 145 p.
6. Sun X., Li G., Zhao C., Liu Y., Miao C. Investigation of deep mine shaft stability in alternating hard and soft rock strata using three-dimensional numerical modeling // Processes. 2019, 7, 2. DOI: 10.3390/PR7010002.
7. Perform an analysis of the results of surveys of shaft lining, assess the need and scope of geophysical work in deformed areas: report on SIW / JVC «Belgorchimprom»; supervisor A.M. Efimov; executor Kafanova T.P. et al. – Minsk, 2009. – 42 p. – No 20092386.
8. Diulin D.A. Research of the Soligorsk vertical mine shafts // Rock Mechanics and Mechanical Engineering. 2021, no. 4, pp. 2228.
9. Byer V.E. Construction materials: book. – M.: Architecture-S, 2004. – 240 p.
10. Rudnov V.S., Vladimirova E.V., Domanskaya I.K., Gerasimova E.S. Building materials and products: textbook. – Ekaterinburg: Ural university press, 2018. – 203 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Прушак Виктор Яковлевич – академик НАН Беларуси, доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии Республики Беларусь в области науки и техники, технический директор	Prushak Viktor Yakovlevich – corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, doctor of technical sciences, professor, laureate of state prize of the Republic of Belarus in science and engineering, company director
Диулин Денис Александрович – генеральный директор	Diulin Denis Aleksandrovich – chief executive officer
Гегедеш Марина Григорьевна – кандидат технических наук, доцент marina-kuzn@mail.ru	Gegedesh Maryna Grigor'evna – candidate of technical sciences, associate professor

Получена 17.06.2022