

15. Zaalishvili V.B., Melkov D.A. Reconstructing the Kolka surge on September 20, 2002 from the instrumental seismic data // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2014. Vol. 50. No. 5. pp. 707-718.

16. Gryazev M.V., Kachurin N.M., Stas G.V. Aerogasodynamic processes and aerological safety in underground mining: monograph. Tula: TulSU Publishing House, 2018. 266p.

УДК 622.062

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТОРКРЕТ-БЕТОННОГО КРЕПЛЕНИЯ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ, ПРОЙДЕННЫХ СПОСОБОМ БУРЕНИЯ

М.С. Плешко, О.Д. Голембо

Расширение области применения торкрет-бетонной крепи может быть обеспечено при переходе на технологию проходки стволов способом бурения, которая обеспечивает точные размеры поперечного сечения ствола, а также гладкую, ненарушенную породную поверхность вертикальной выработки. Вместе с тем сдерживающим фактором применения этого способа является обеспечение устойчивости незакрепленных стенок ствола до возведения крепи и комплексная механизация процесса крепления, который при применении традиционных решений требует навески полка и использование ручного труда. Решением этой проблемы является внедрение безлюдной аддитивной технологии сооружения вертикальных стволов бурением, базирующейся на применении роботизированных и автоматизированных комплексов. Обоснование параметров аддитивной технологии необходимо осуществлять с учетом фактического профиля стенок ствола, неоднородности и трещиноватости пород околоствольного массива. На основании принятых решений разработана методика определения параметров крепи и аддитивной технологии ее возведения. В зависимости от значения геомеханического рейтинга устойчивости RMR определяются класс бетона, толщина крепи и расход фибры, при этом в породах I – III категорий нанесение крепи осуществляется по схеме торкретирования, а в породах IV – V категорий используется аддитивная технология (3D-печать) с возведением оболочки необходимой толщины.

Ключевые слова: ствол, породный массив, бурение, торкрет-бетон, крепление, несущая способность.

Введение

В шахтном и подземном строительстве все более широкое применение находит крепь из торкрет-бетона. Исключением являются вертикальные стволы рудников, где преобладают монолитная бетонная и тюбинговые крепи, которые характеризуются высокой стоимостью (особенно последняя) и трудоемкостью возведения.

Расширение области применения торкрет-бетонной крепи может быть обеспечено при переходе на технологию проходки стволов способом бурения, которая обеспечивает точные размеры поперечного сечения ство-

ла, а также гладкую, ненарушенную породную поверхность вертикальной выработки. Крепление может производиться после сооружения выработки на полную глубину и диаметр без нахождения людей в стволе с помощью дистанционных роботизированных установок [1,2].

Сдерживающим фактором широкого внедрения такой технологии является отсутствие методики определения параметров торкрет-бетонной крепи стволов, пройденных способом бурения, в различные горнотехнические условия.

В этой связи обратимся к зарубежному опыту проектирования и применения торкрет-бетонной крепи стволов.

Прежде всего, необходимо отметить, что торкрет-бетонная крепь применяется не только в благоприятных, как рекомендовано СП 91.13330.2012 «Подземные горные выработки», но и в весьма сложных горно-геологических условиях. Так, использование торкрет-бетонной крепи большой толщины в условиях действия больших горизонтальных напряжений, наличия геологических нарушений и интенсивных деформаций породного массива обеспечило устойчивость участков стволов, рудоспусков и их сопряжений на глубинах свыше 1200 м [3].

Отличительной чертой работы торкрет-бетонной крепи в отличие от жестких бетонных и тюбинговых крепей является ее более высокая податливость [4,5], что обеспечивает более эффективную разгрузку массива пород в призабойной зоне при проходке ствола. Вместе с тем выполненное в работе [4] моделирование сечений ствола диаметром 10 м на глубине 1,2 км в горном массиве среднего качества с торкрет-бетонной крепью толщиной 50 мм методом конечных дискретных элементов (FDEM) показало, что крепь теряет несущую способность из-за изгиба, вызванного неравномерным давлением околоствольных пород. Сделан вывод, что торкрет-бетон не следует использовать в качестве единственного вида крепи в стволах такого большого диаметра.

Еще более сложные горно-геологические условия рассмотрены в работе [6], где описан опыт проектирования и строительства одного из самых глубоких стволов в Китае в условиях динамических проявлений горного давления. Отмечены важность реализации процесса разгрузки ствола в призабойной зоне и перспективность применения комбинированных крепей с использованием торкрет-бетона.

Дополнительное повышение эффективности торкрет-бетонной крепи обеспечивается при ее армировании стальной, полипропиленовой фиброй или гибридными волокнами [7 – 9]. Результаты комплексного исследования фиброторкрет-бетонной крепи подтверждают повышение эффективности ее работы при деформациях изгиба [7,8], а также при развитии интенсивных водопроявлений в стволах [9]. Вместе с тем важнейшую роль играет контроль качества крепления на всех этапах приготовления, транспортировки и нанесения крепи.

Основопологающим принципом эффективности применения конкретной конструкции крепи вертикальных стволов и других капитальных выработок является адекватный учет геомеханических свойств окружающих горных пород [10,11]. Это достигается при качественном проведении инженерно-геологических изысканий, применении прямых геомеханических методов оценки напряженно-деформированного состояния крепи и пород [12 – 13], а также при использовании современных методов математического моделирования с обязательной калибровкой моделей по данным шахтных экспериментов и учетом влияющих негативных факторов [14].

В основе большинства методов и методик выбора и обоснования параметров крепи стволов лежат интегральные классификации устойчивости горных пород в их современной интерпретации, в частности методы RMR, Q, GSI и др. [6]. При этом в современной российской практике для решения прикладных геомеханических задач все более широко применяются аналогичные подходы [15].

В то же время, как уже отмечалось ранее, торкрет-бетонная и комбинированная крепи широко внедрены преимущественно в горизонтальных и наклонных выработках [16]. Для них разработаны отраслевые инструкции и методики определения параметров крепления, которые успешно применяются как в обычных, так и в сложных горно-геологических условиях [17-18].

При этом классические подходы к решению различных геомеханических задач [19-21] не предполагают длительного нахождения капитальной выработки в незакрепленном состоянии, так как в случае присутствия людей в забое это запрещено правилами безопасности.

На основании этого весьма актуальным является разработка методики определения параметров торкрет-бетонного крепления шахтных стволов, пройденных способом бурения, что позволит значительно расширить возможности применения прогрессивных технологий при строительстве и реконструкции горных предприятий. Решению данной задачи посвящена основная часть настоящей публикации.

В результате анализа области применения современных установок для бурения стволов установлено, что существующий сегодня типовой ряд охватывает все основные типоразмеры стволов рудников (рис. 1). Для сверхглубоких стволов (1,5...2,0 км) может быть также применена ступенчатая схема с устройством промежуточных горизонтов, не требующая большого объема горнопроходческих работ по устройству промежуточных камер.

Вместе с тем сдерживающим фактором применения способа бурения является обеспечение устойчивости незакрепленных стенок ствола до возведения крепи и комплексная механизация процесса крепления, который при применении традиционных решений требует навески полка и применения ручного труда.

Следует отметить, что в нашей стране отсутствует опыт оставления стволов без крепления на длительный срок и при применении традиционных ращений крепь возводится вслед за подвиганием забоя. Известный опыт бурения стволов в бывшем СССР относился преимущественно к неустойчивым породам, в которых применялась технология опускной крепи под защитой бурового раствора.

С учетом этого выполнен комплекс исследований методами математического моделирования для реальных условий горнорудных месторождений Российской Федерации.

Пример рассмотренных при моделировании характеристик скальных пород приведен в табл. 1.

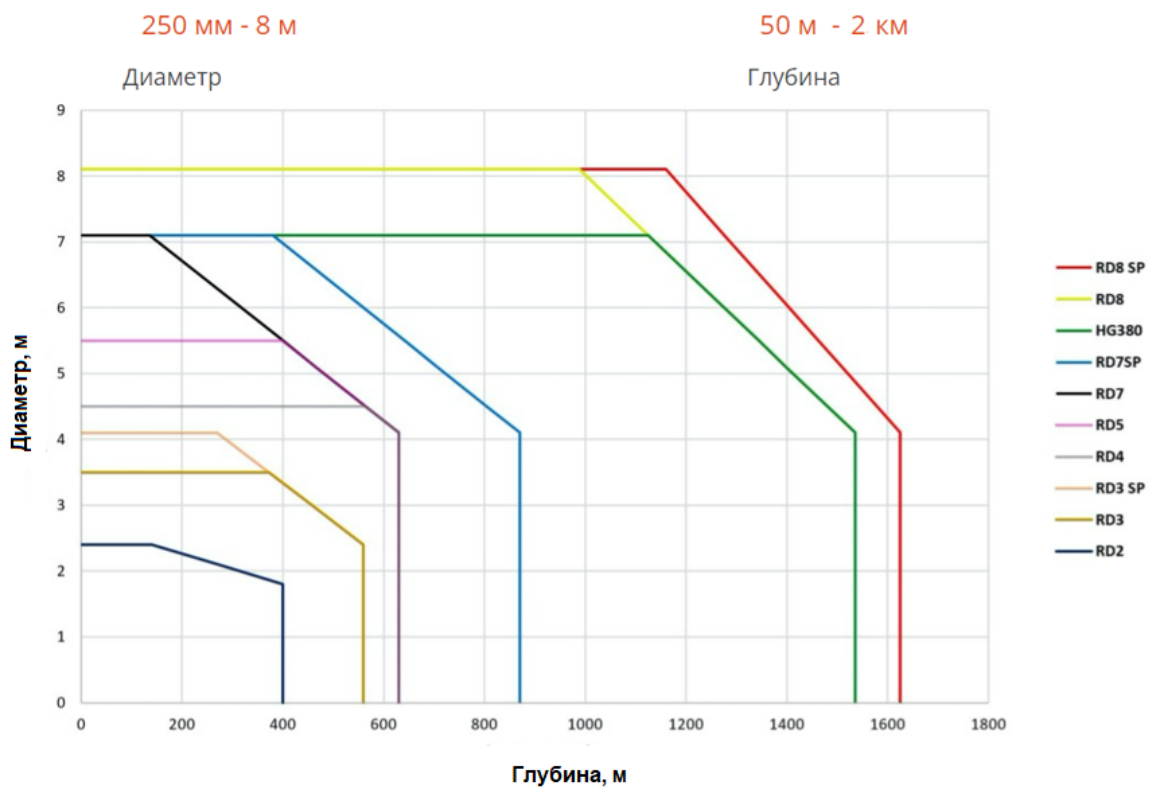


Рис. 1. Область применения буровых установок для сооружения стволов

Коэффициент структурного ослабления скальных пород изменялся в диапазоне от 0,2 до 0,6.

Для данных условий (высокомодульные трещиноватые скальные породы с отдельными маломощными участками низкой устойчивости) предложена концепция безлюдной аддитивной технологии сооружения вертикальных стволов бурением, базирующаяся на применении роботизированных и автоматизированных безлюдных комплексов (рис. 2). Устройство крепи производится в направлении снизу-вверх роботизированной

установкой с учетом фактического профиля породных стенок и устойчивости массива пород.

Таблица 1

Физико-механические свойства скальных грунтов

| № п/п | Тип пород | Плотность сухой горной породы, г/см ³ | Коэффициент крепости, д.ед. | Пределы прочности, МПа | | | Удельное сцепление, МПа | Угол внутреннего трения, град | Модуль упругости (Юнга), Ед. 10 ⁻² , МПа | Коэффициент Пуассона, д.ед. |
|-------|--------------------------|--|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------------|----------------|-------------------------|-------------------------------|---|-----------------------------|
| | | | | при сжатии в сухом состоянии | при сжатии в водонасыщенном состоянии | при растяжении | | | | |
| 1. | Базальтовая толща | 2,88 | 15,8 | 218,0 | 200,6 | 19,9 | 37,9 | 55 | 908,2= | 0,22 |
| 2. | Туф базальтового состава | 2,93 | 15,4 | 211,0 | 184,6 | 21,4 | 38,5 | 54 | 1027,2 | 0,24 |
| 3. | Долериты | 2,84 | 20,0 | 310,4 | 272,3 | 33,6 | 58,1 | 52 | 865,5 | 0,24 |
| 4. | Базальтовая толща | 2,98 | 18,2 | 264,1 | 258,9 | 22,6 | 44,5 | 56 | 900,7 | 0,24 |
| 5. | Туф базальтового состава | 2,95 | 10,5 | 123,1 | 117,8 | 16,8 | 25,5 | 48 | 951,6 | 0,27 |
| 6. | Базальтовая толща | 2,94 | 13,9 | 184,3 | 168,1 | 25,4 | 38,5 | 48 | 1051,1 | 0,26 |
| 7. | Базальтовая толща | 2,97 | 15,8 | 218,6 | 200,4 | 21,5 | 39,3 | 54 | 1037,2 | 0,25 |
| 8. | Базальтовая толща | 2,92 | 9,8 | 115,9 | 90,6 | 13,6 | 22,6 | 51 | 568,9 | 0,27 |

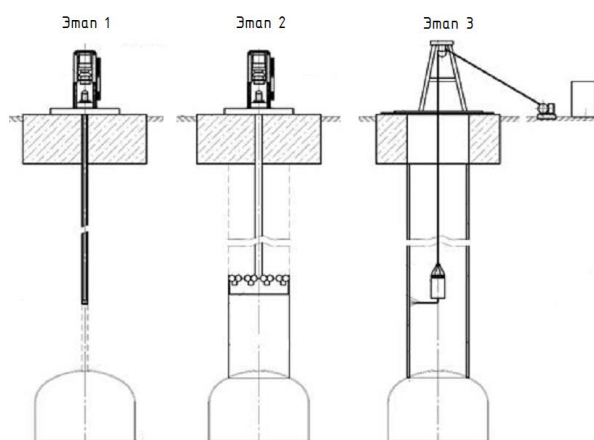


Рис. 2. Схема проходки и крепления вертикального ствола

Обоснование параметров аддитивной технологии крепления стволов следует осуществлять с учетом фактического профиля стенок ствола, неоднородности и трещиноватости пород околоствольного массива.

Наиболее адекватно учет трещиноватости можно произвести с помощью модели Хоека-Брауна. Смещения на контуре незакрепленного ствола при этом постепенно возрастают по мере увеличения его глубины, причем пиковые значения приурочены к слоям пород с малыми значениями геологического индекса прочности Хоека-Брауна GSI. Пример характерной эпюры изменения горизонтальных смещений приведен на рис. 3. Пик деформаций приходится на участок, представленный неустойчивым слоем малой мощности с индексом GSI=25.

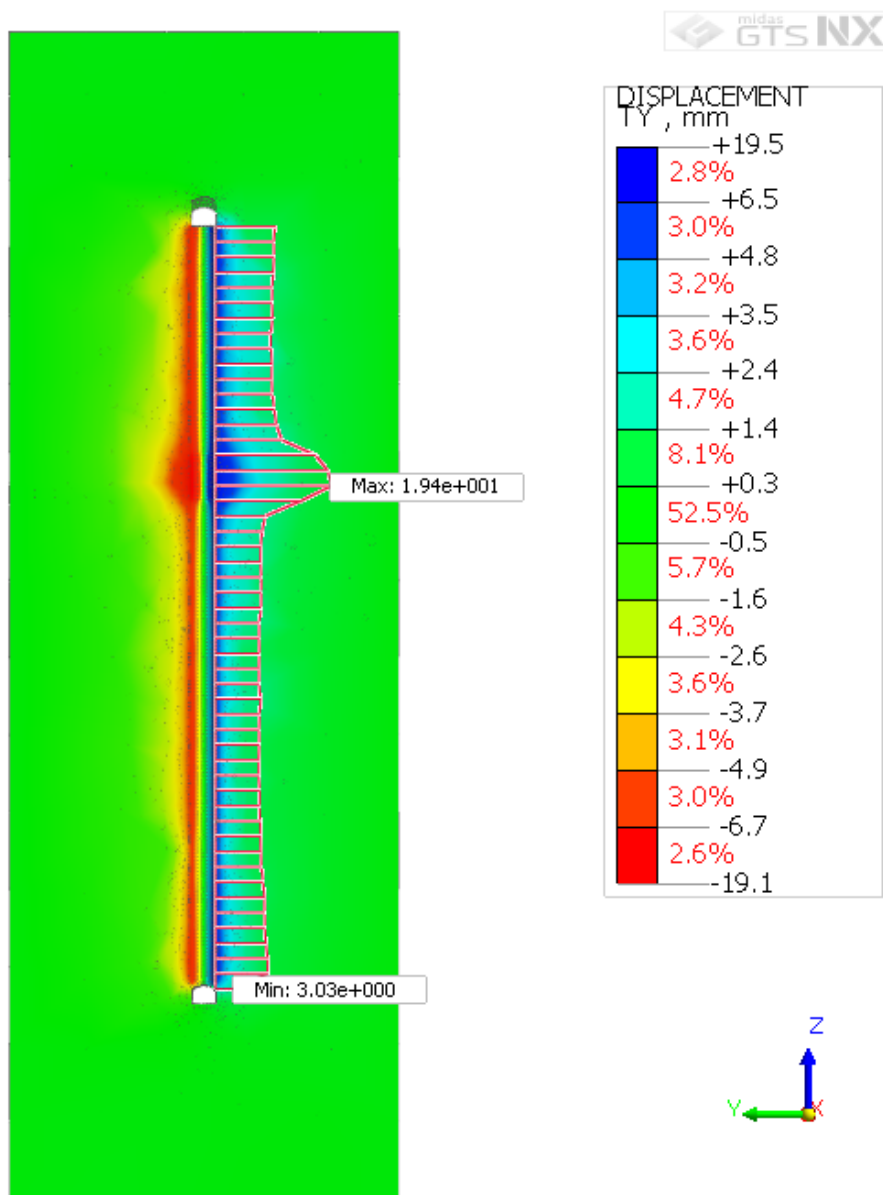


Рис. 3. Результаты определения горизонтальных смещений в пробуренном стволе

Результаты моделирования показывают, что вероятные локальные разрушения в виде отслоений пород на этом участке возможны на глубину до 1,5 м. В целом можно выделить три характерных участка в пробуренном стволе:

- 1) участки полностью устойчивых пород (отслоения не более 5 см);
- 2) участки незначительного ослоения пород (менее 15 см);
- 3) участки вывалообразования (более 15 см).

Фактическое выделение участков осуществляется после разбуривания ствола на полное сечение путем 3D-сканирования с применением защищенных дронов.

На первом этапе определяется фактический профиль породных стенок, а на втором этапе производится контрольное сканирование после нанесения крепи с идентификацией участков с различной толщиной крепи.

На основании принятых решений предложена методика определения параметров крепи и аддитивной технологии ее возведения. С учетом данных сканирования и оценки устойчивости сначала определяется допустимое время обнажения околоствольных пород до возведения крепи. Для стволов различного диаметра этот параметр определяется по графику проф. Бенявского в зависимости от геомеханического рейтинга устойчивости RMR [22].

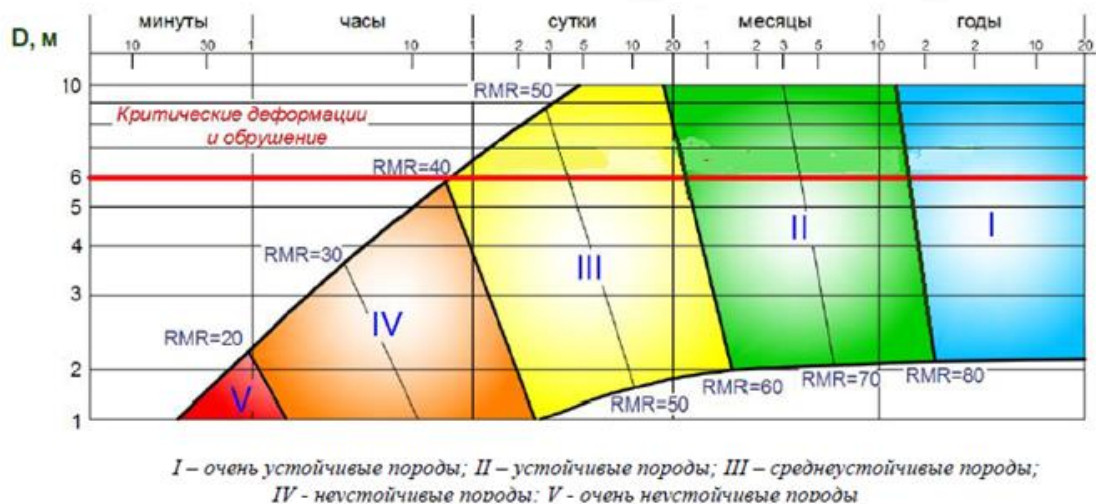


Рис. 4. Графики для определения допустимого времени обнажения пород при бурении ствола

Далее разработана методика определения параметров крепления ствола. Для крепи применяются высокопрочные составы бетона и фибробетона, параметры которых принимаются в соответствии с категорией устойчивости массива. В породах I - III категорий нанесение крепи осуществляется по схеме торкретирования. В породах IV- V категорий ис-

пользуется аддитивная технология (3D-печать) с возведением оболочки большой толщины (табл. 2).

Таблица 2

Методика определения параметров крепления ствола

| Параметр | Интервалы значений | | | | |
|--------------------------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|
| | 100-81 | 80-61 | 60-41 | 40-21 | <20 |
| Рейтинг RMR | 100-81 | 80-61 | 60-41 | 40-21 | <20 |
| Категория устойчивости массива | I | II | III | IV | V |
| Толщина крепи | 80-120 | 120-150 | 150-200 | 250 | 500 |
| Класс бетона | B25 | B30 | B30-B40 | B35-B50 | B40-B60 |
| Расход фибры, кг/м.куб. | - | 30 - 40 | 40 - 50 | 50 - 70 | 70 - 75 |

На участках вывалообразования применяется двухэтапная технология – сначала торкретированием заполняются пустоты, далее по аддитивной технологии возводится основная крепь.

Проверочные расчеты показали, что крепь с обоснованными параметрами характеризуется высокой несущей способностью и обеспечивает длительную устойчивость стволов в широком диапазоне условий.

Примеры результатов расчета в виде изополей напряжений фрагментов 3D модели приведены на рис. 5.

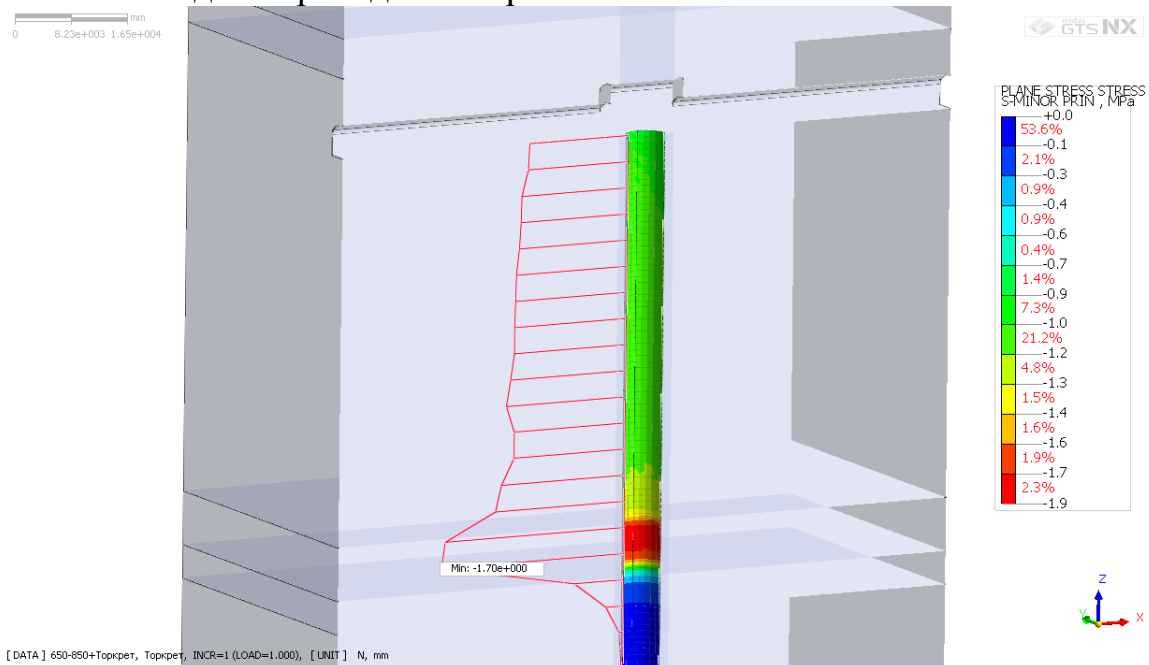


Рис. 5. Изополя и эпюры напряжений в набрызгбетонной крепи ствола

Анализ полученных результатов показал, что несущая способность набрызгбетонной крепи обеспечивается с необходимым запасом. В основном диапазоне горно-геологических условий достаточным является применение торкрет-бетонной крепи класса В25-В30 толщиной 120...200 мм.

Заключение

По результатам исследований можно отметить, что выбор аддитивной технологии крепления ствола должен производиться с учетом фактической устойчивости и профиля поверхности обнаженных околоствольных пород, при этом ключевым фактором работоспособности конструкции крепи является вариативность ее прочностных и геометрических параметров, определяемых по разработанной методике.

Дополнительная технико-экономическая оценка также показывает, что реализация разработанных технических и технологических решений в типовых условиях рудников Урала, Сибири, Норильского промышленного района и др., позволит обеспечить полную безопасность работ благодаря отсутствию людей в забое на всех этапах строительства, а сроки строительства выработок сократить на 60 % и стоимость работ на 20 % по сравнению с традиционной буровзрывной технологией проходки.

Список литературы

1. Geomechanical monitoring and stress–strain analysis of lining in ultra-deep mine shafts / M.S. Pleshko, A.N. Pankratenko, A.A. Nasonov, A.S. Isaev // *Eurasian Mining*. 2023. 39(1). P. 13 – 19.
2. Experimental study on the dynamic mechanical properties of high-performance hybrid fiber-reinforced concrete of mine shaft lining / W. Cheng [and others] // *Journal of Materials Research and Technology*. 2021. 14(05).
3. Notch formation in vertical excavations in a deep hard rock mine and rock stabilization methodologies / A. Hall, M. Cai, B. Simser, J. Lindsay // *Deep Resources Engineering*. 2024(1).
4. Bahrani N. Stability Analysis of Shotcrete Lining for a Mine Shaft Using the Finite-Discrete Element Method. *ARMA 22–2025*. June 2022.
5. Naseri S., Bahrani N. Stability assessment of initial shotcrete lining using two-dimensional continuum numerical modeling // *Proceedings of the Ninth International Symposium on Ground Support in Mining and Underground Construction, Australian Centre for Geomechanics*. Perth. 2019. P. 311 – 326.
6. Zhao X., Deng L., Zhou X. A Primary Support Design for Deep Shaft Construction Based on the Mechanism of Advanced Sequential Geopressure Release. *Processes* 2022(10).
7. Monteiro V.M.D.A., Silva F.D.A. The use of the Barcelona test as quality control of fiber reinforced shotcrete for underground mining. *Constr. Build. Mater.* 2020 (262).

8. Niedbalski Z., Małkowski P. Difficulties in maintaining shaft lining – testing methods and repair methods – a case study // E3S Web of Conferences. 2020(201).

9. Preparation, performance test and microanalysis of hybrid fibers and microexpansive high-performance shaft lining concrete / L. Yang [and others] // Constr. Build. Mater. 2019(223).

10. Thickness Identification of Tunnel Lining Structure by Time–Energy Density Analysis based on Wavelet Transform / Z. Sheng, H. Wenchao, L. Yongsuo, Z. Yuchi // Journal of Engineering Science and Technology Review. 2019. 12(4). P. 28-37.

11. Bruneau G., Tyler D.B., Hadjigeorgiou J., Potvin Y. Influence of faulting on a mine shaft - a case study: part I - background and instrumentation // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2003. 40. P.95–111.

12. Jendryś M. Analysis of stress state in mine shaft lining, taking into account superficial defects // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2019.

13. Evaluation of vertical shaft stability in underground mines: comparison of three weight methods with uncertainty theory / C. Chao, Z. Jian, Z. Tao, Y. Weixun // Natural Hazards. 2021(109). P. 1 – 23.

14. Experimental study on the dynamic mechanical properties of high-performance hybrid fiber-reinforced concrete of mine shaft lining / W. Cheng [and others] // Journal of Materials Research and Technology. 2021. 14(05). P.888 – 900.

15. Бушков В.К., Шеметов Р.С. Определение устойчивости и обоснование систем крепления горных выработок при переходе к отработке Олимпиадинского месторождения подземным способом // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. (9). С. 40 – 54.

16. Шокарев Д.А., Шапошник Ю.Н., Конурич А.И. Внедрение технологии крепления усиленной комбинированной крепью при проходке горных выработок на шахте «Артемьевская» // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2018. № 2. С. 21 – 29.

17. Совершенствование расчетно-экспериментальных методов проектирования шахтных стволов / М. С. Плешко, Ю. А. Сильченко, А. Н. Панкратенко, А. А. Насонов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 12. С. 55 – 66.

18. Каюмова А.Н., Балек А.Е., Харисов Т.Ф. Оценка безопасности проходки сближенных капитальных камерных выработок в сложных горно-геологических и геотехнических условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 7. С.131–147.

19. Корчак П.А., Карасев М.А. Геомеханическое обоснование формирования зон хрупкого разрушения пород в окрестности сопряжений

горных выработок рудников АО "Апатит" // Устойчивое развитие горных территорий. 2023. Т. 15. № 1 (55). С. 67 – 80.

20. Протосеня А.Г., Вербило П.Э. Изучение прочности на сжатие трещиноватого горного массива // Записки горного института. 2017. 223. С. 51 – 57.

21. Каспарьян Э.В., Федотова Ю.В., Кузнецов Н.Н. Развитие представлений о естественном напряженном состоянии массивов скальных пород // Труды Кольского научного центра РАН. 2019. № 6-1. С. 110 – 128.

22. Выбор типов и параметров крепей в условиях подземной отработки апатит-нефелиновых месторождений / В.С. Онуприенко, А.А. Еременко, Ю.Н. Шапошник, А.Н. Копытов // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. № 2. 2023. С. 56 – 70.

Плешко Михаил Степанович, д-р техн. наук, проф., проф., pleshko.ms@misis.ru, Россия, Москва, НИТУ «МИСИС»,

Голембо Олег Дмитриевич, аспирант, sps@misis.ru, Россия, Москва, НИТУ «МИСИС»

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF SHOTCRETE FASTENING MINE SHAFTS PASSED THROUGH THE DRILLING METHOD

M.S. Pleshko, O.D. Golembo

Expansion of the scope of application of shotcrete lining can be achieved by switching to the technology of shaft sinking by drilling, which ensures the exact dimensions of the cross-section of the shaft, as well as a smooth, undisturbed natural surface of the vertical excavation. At the same time, the limiting factor in the use of this method is ensuring the stability of the loose walls of the shaft before erecting the support and the comprehensive mechanization of the fastening process, which, when using traditional solutions, requires hanging a shelf and the use of manual labor. The solution to this problem is the introduction of unmanned additive technology for the construction of vertical shafts by drilling, based on the use of robotic and automated complexes. The justification of the parameters of the additive technology must be carried out taking into account the actual profile of the shaft walls, the heterogeneity and fracturing of the rocks of the near-barrel massif. Based on the decisions made, a methodology has been developed for determining the parameters of the support and the additive technology for its construction. Depending on the value of the geomechanical stability rating RMR, the concrete class, support thickness and fiber consumption are determined, while in rocks of categories I - III, support is applied using a shotcrete scheme, and in rocks of categories IV - V additive technology (3D printing) is used with the construction shells of the required thickness.

Key words: trunk, rock mass, drilling, gunite concrete, fastening, load-bearing capacity.

Pleshko Mikhail Stepanovich, doctor of technical sciences, prof., pleshko.ms@misis.ru, Russia, Moscow, NUST MISIS,

Golebo Oleg Dmitrievich, postgraduate, sps@misis.ru, Russia, Moscow, NUST «MISIS»

Reference

1. Geomechanical monitoring and stress–strain analysis of lining in ultra-deep mine shafts / M.S. Pleshko, A.N. Pankratenko, A.A. Nasonov, A.S. Isaev // *Eurasian Mining*. 2023. 39(1). P. 13 – 19.
2. Experimental study on the dynamic mechanical properties of high-performance hybrid fiber-reinforced concrete of mine shaft lining / W. Cheng [and others] // *Journal of Materials Research and Technology*. 2021. 14(05).
3. Notch formation in vertical excavations in a deep hard rock mine and rock stabilization methodologies / A. Hall, M. Cai, B. Simser, J. Lindsay // *Deep Resources Engineering*. 2024(1).
4. Bahrani N. Stability Analysis of Shotcrete Lining for a Mine Shaft Using the Finite-Discrete Element Method. *ARMA 22–2025*. June 2022.
5. Naseri S., Bahrani N. Stability assessment of initial shotcrete lining using two-dimensional continuum numerical modeling // *Ground Support 2019: Proceedings of the Ninth International Symposium on Ground Support in Mining and Underground Construction*, Australian Centre for Geomechanics. Perth. P. 311 – 326.
6. Zhao X., Deng L., Zhou X. A Primary Support Design for Deep Shaft Construction Based on the Mechanism of Advanced Sequential Geo-pressure Release. *Processes* 2022(10).
7. Monteiro V.M.D.A., Silva F.D.A. The use of the Barcelona test as quality control of fiber reinforced shotcrete for underground mining. *Constr. Build. Mater.* 2020 (262).
8. Niedbalski Z., Małkowski P. Difficulties in maintaining shaft lining – testing methods and repair methods – a case study // *E3S Web of Conferences*. 2020(201).
9. Preparation, performance test and microanalysis of hybrid fibers and microexpansive high-performance shaft lining concrete / L. Yang [and others] // *Constr. Build. Mater.* 2019(223).
10. Thickness Identification of Tunnel Lining Structure by Time–Energy Density Analysis based on Wavelet Transform / Z. Sheng, H. Wenchao, L. Yongsuo, Z. Yuchi // *Journal of Engineering Science and Technology Review*. 2019. 12(4). P. 28-37.
11. Bruneau G., Tyler D.B., Hadjigeorgiou J., Potvin Y. Influence of faulting on a mine shaft - a case study: part I - background and instrumentation // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2003. 40. P.95–111.
12. Jendryś M. Analysis of stress state in mine shaft lining, taking into account superficial defects // *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2019.
13. Evaluation of vertical shaft stability in underground mines: comparison of three weight methods with uncertainty theory / C. Chao, Z. Jian, Z. Tao, Y. Weixun // *Natural Hazards*. 2021(109). P. 1 – 23.
14. Experimental study on the dynamic mechanical properties of high-performance hybrid fiber-reinforced concrete of mine shaft lining / W. Cheng [and others] // *Journal of Materials Research and Technology*. 2021. 14(05). P.888 – 900.
15. Bushkov V.K., Shemetov R.S. Determination of stability and justification of systems for fastening mining workings during the transition to the development of the Olympi-dinsky deposit by an underground method // *Mining information and analytical bulletin*. 2020. (9). pp. 40-54.

16. Shokarev D.A., Shaposhnik Yu.N., Konurin A.I. Introduction of the technology of fastening with reinforced combined fasteners during mining at the Artemevskaya mine // Bulletin of Kuzbass State Technical University. 2018. No. 2. pp. 21-29.
17. Improvement of computational and experimental methods for designing mine shafts / M. S. Pleshko, Yu. A. Silchenko, A. N. Pankratenko, A. A. Nasonov // Mining information and analytical bulletin. 2019. No. 12. pp. 55-66.
18. Kayumova A.N., Balek A.E., Kharisov T.F. Assessment of the safety of sinking of converged capital chamber workings in difficult mining, geological and geotechnical conditions // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2022. No. 7. pp.131– 147.
19. Korchak P.A., Karasev M.A. Geomechanical substantiation of the formation of zones of brittle rock destruction in the vicinity of mine workings of Apatit JSC mines // Sustainable development of mountain territories. 2023. vol. 15. No. 1 (55). pp. 67-80.
20. Protosenya A.G., Verbilo P.E. Studying the compressive strength of a fractured rock massif // Notes of the Mining Institute. 2017. 223. pp. 51 – 57.
21. Kasparyan E.V., Fedotova Yu.V., Kuznetsov N.N. The development of ideas about the natural stress state of rock massifs // Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2019. No. 6-1. pp. 110 - 128.
22. The choice of types and parameters of supports in the conditions of underground mining of apatite-nepheline deposits / V.S. Onuprienko, A.A. Eremenko, Yu.N. Shaposhnik, A.N. Kopytov // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. No. 2. 2023. pp. 56-70.

УДК 622.062

ТЕХНОЛОГИЯ КОМБИНИРОВАННОГО КРЕПЛЕНИЯ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ В УСЛОВИЯХ НЕРАВНОМЕРНОГО ТЕКТОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

А.Н. Панкратенко, И.В. Маркин

В Российской Федерации большинство рудников строятся и функционируют в породных массивах, характеризующихся неравномерным полем горизонтальных напряжений, обусловленных тектоническими причинами. К таким объектам относятся большинство предприятий Норильского промышленного района, Урала, Забайкальского края, Кольского п-ва и др. На основании ранее проведённых исследований установлено, что на больших глубинах даже в высокомодульных прочных породах монолитная бетонная крепь стволов в условиях неравномерного тектонического воздействия не обладает требуемой несущей способностью на интервалах, где расстояния между сопряжениями составляют менее 40 м. Требуется переход на крепь из монолитного железобетона или тюбинги, что приводит к значительному удорожанию конструкций, увеличению трудоемкости и стоимости крепления. В связи с этим предложен новый подход к строительству стволов в рассматриваемых условиях, который заключается в применении параллельной технологической схемы с возведением в призабойной зоне ствола передовой крепи с переменным по сечению ствола сопротивлением. Передовая крепь включает в себя трехуровневые анкера, сетку, армокаркасы усиления и слой торкрет-бетона. Основная крепь возводится с отставанием 35 м от проходческого забоя. Прочностные характеристики основной крепи при этом уточ-