

УДК 622.363.2:622.25

О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ПЕРЕМЕННОЙ ФАКТИЧЕСКОЙ ЖЕСТКОСТИ НАПРАВЛЯЮЩИХ ПРОВОДНИКОВ В ШАХТНЫХ СТВОЛАХ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ



В. С. ПЕСТРИКОВА,

старший научный сотрудник,
канд. техн. наук
Pestrikova.Varvara@uralkali.com



А. Д. ЯРУШИН,

инженер



В. В. ТАРАСОВ,

заведующий лабораторией
строительства и эксплуатации
шахтных стволов, канд. техн. наук



Д. Н. ШКУРАТСКИЙ,

генеральный директор, канд. техн. наук

АО «ВНИИ Галургии», Пермь, Россия

Введение

В последнее время вопросам работоспособности армировок в шахтных стволах уделяется повышенное внимание. Это актуально как на стадии проектирования, так и в процессе эксплуатации систем армировок шахтных стволов. Данному вопросу особое внимание было уделено во второй половине XX в., в период резкого увеличения пропускной способности шахтных стволов, когда недостаточная изученность процессов, возникающих в системе «подъемный сосуд – армировка», послужила причиной возникновения аварийных ситуаций в шахтных стволах. В результате в дальнейшем получило развитие математическое обоснование динамических процессов в системе «подъемный сосуд – армировка» [1–3].

Известно [2, 4–6], что одной из основных причин возникновения динамических нагрузок в системе армировки ствола является изменение ее жесткости. При этом жесткость направляющих проводников является периодической функцией пути подъемного сосуда. При постоянной скорости его движения даже при прямолинейных направляющих проводниках в системе «подъемный сосуд – армировка» неизбежно будут возникать динамические нагрузки, в результате действия которых система армировки ствола может потерять свою работоспособность. Практика эксплуатации шахтных стволов [7–9] показывает, что учесть только

Выполнена оценка жесткости направляющих проводников армировки в шахтных стволах калийных рудников.

Приведена методика определения фактической жесткости проводников.

Проведены экспериментальные исследования и сопоставление фактической и расчетной жесткости направляющих проводников в стволах. Для характеристики жесткости введен коэффициент переменной жесткости армировки, показывающий величину ее снижения в пролете между ярусами.

Ключевые слова: шахтный ствол, подъемный сосуд, динамическая нагрузка, направляющий проводник, жесткостные характеристики, расстрел, работоспособность армировки.

DOI: 10.17580/gzh.2021.04.06

расчетным путем совокупность всех факторов, влияющих на эксплуатационное состояние армировки, затруднительно. Поэтому весьма актуальной задачей является определение фактических параметров армировки в реальных условиях ее эксплуатации при инструментальном контроле.

Методика и результаты исследований

С целью выяснения пределов и характера изменения жесткости армировки шахтных стволов были проведены экспериментальные замеры ее действительных величин. Замеры жесткости армировки осуществляли следующим образом. Направляющий проводник деформировали домкратом в лобовом и боковом направлениях. По динамометру с индикатором часового типа определяли величину приложенной к проводнику силы P . Величину перемещения проводника, в свою очередь, устанавливали по индикатору часового типа. Перемещения проводника под действием силы P в пролете между расстрелами замеряли в 6–7 точках. Результаты проведенных замеров показали, что полученные зависимости величины перемещения проводника от приложенной нагрузки для каждой замеренной точки близки к линейным, поэтому фактическая жесткость направляющих проводников может быть определена как тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс, т. е. по формуле

$$C = (P_2 - P_1)/(l_2 - l_1),$$

где C – жесткость направляющего проводника; P_2, P_1 – нагрузки в любых двух точках прямолинейного участка зависимости; l_2, l_1 – величины перемещений проводника в точках приложения нагрузки.

По полученным аналитическим значениям фактической жесткости балок расстрелов были построены кривые изменения жесткости направляющих проводников для участков армировки

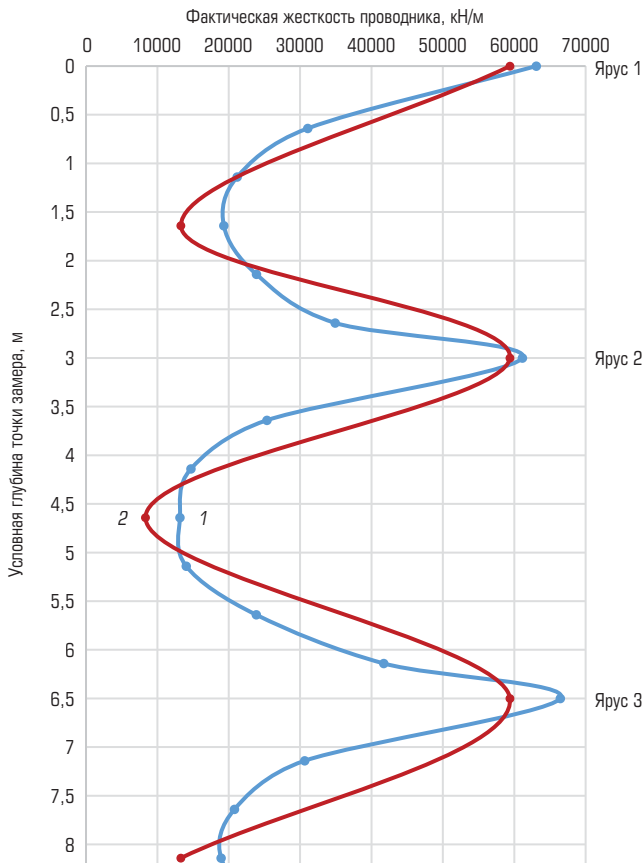


Рис. 1. Кривая изменения фактической (1) и расчетной (2) жесткости направляющего проводника на участке скипового ствола (шаг армировки 3 м)

действующих шахтных стволов Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. В частности, были проанализированы величины фактической жесткости направляющих проводников одного из действующих скиповых стволов Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. Основные параметры шахтного подъема и системы армировки ствола приведены ниже.

Диаметр ствола, м	7
Назначение шахтного подъема	Скиповой
Тип подъемного сосуда	Скип с неподвижным кузовом
Геометрическая вместимость кузова скипа, м ³	19
Максимальная скорость движения подъемного сосуда, м/с	8,1
Материал для изготовления элементов армировки	Металл
Геометрическое сечение направляющих проводников, мм	180×180×12
Геометрическое сечение балок расстрелов, мм	190×190×12
Шаг армировки, м	3

Замеры фактической жесткости по вышеприведенной методике осуществляли для одного из направляющих проводников шахтного ствола на участке длиной 9,5 м со средней частотой измерений 0,5 м. Точки замеров фактической жесткости проводников расположены как на уровне яруса армировки, так и в пролете между ярусами. Полученная в результате замеров кривая изменения замеренной жесткости направляющих проводников для

участка армировки ствола приведена на **рис. 1**. Также на рис. 1 показана кривая изменения расчетной жесткости проводников. Последнюю величину определяли расчетным путем как обратную податливость направляющего проводника в пролете между ярусами под действием расчетной динамической нагрузки. Как видно из рис. 1, колебания расчетной жесткости проводника на уровне яруса и в пролете между ярусами несколько больше аналогичной величины фактической жесткости проводников. Также на кривой изменения фактической жесткости армировки отмечается тенденция к значительному снижению жесткости проводника на уровне яруса и в пролете между ярусами. Максимальное значение коэффициента разности величины жесткости на уровне яруса и в пролете между ярусами достигает 4,6.

С позиций безопасной эксплуатации системы «подъемный сосуд – армировка» [10–17] наибольший интерес представляет полученное значение коэффициента разности жесткости на уровне яруса и в пролете между ярусами, поскольку этот показатель может свидетельствовать об увеличении прогиба направляющих проводников в пролете между ярусами, что, в свою очередь, может привести к выходу подъемного сосуда из направляющих проводников [18, 19].

На основании полученной кривой фактической жесткости (см. рис. 1) также можно предположить обратно пропорциональную зависимость между шагом армировки ствола и фактической жесткостью направляющих проводников. Для подтверждения указанной зависимости были проанализированы замеры фактической жесткости направляющих проводников шахтного ствола с увеличенным шагом армировки 6 м. Основные параметры шахтного подъема и системы армировки ствола приведены ниже.

Диаметр ствола, м	7
Назначение шахтного подъема	Скиповой
Тип подъемного сосуда	Скип с неподвижным кузовом
Геометрическая вместимость кузова скипа, м ³	19,5
Максимальная скорость движения подъемного сосуда, м/с	11
Материал для изготовления элементов армировки	Металл
Геометрическое сечение направляющих проводников, мм	180×180×12
Геометрическое сечение балок расстрелов, мм	135×120×14
Шаг армировки, м	6

Полученные в результате замеров кривые изменения жесткости направляющих проводников для участка армировки ствола приведены на **рис. 2**. Как видно из рисунка, выдвинутое предположение об обратно пропорциональной зависимости между величинами шага армировки и жесткости направляющего проводника между ярусами армировки подтверждается.

Таким образом, полученные в результате замеров и отраженные на рис. 1, 2 закономерности изменения фактической жесткости направляющих проводников позволяют вывести коэффициент переменной жесткости армировки k , количественно характеризующий величину снижения жесткости направляющего проводника в пролете между ярусами армировки. Как уже было отмечено выше, данный коэффициент в значительной степени зависит от шага армировки. На **рис. 3** приведены зависимости коэффициента k от величины Δh , где Δh – расстояние от точки замера до

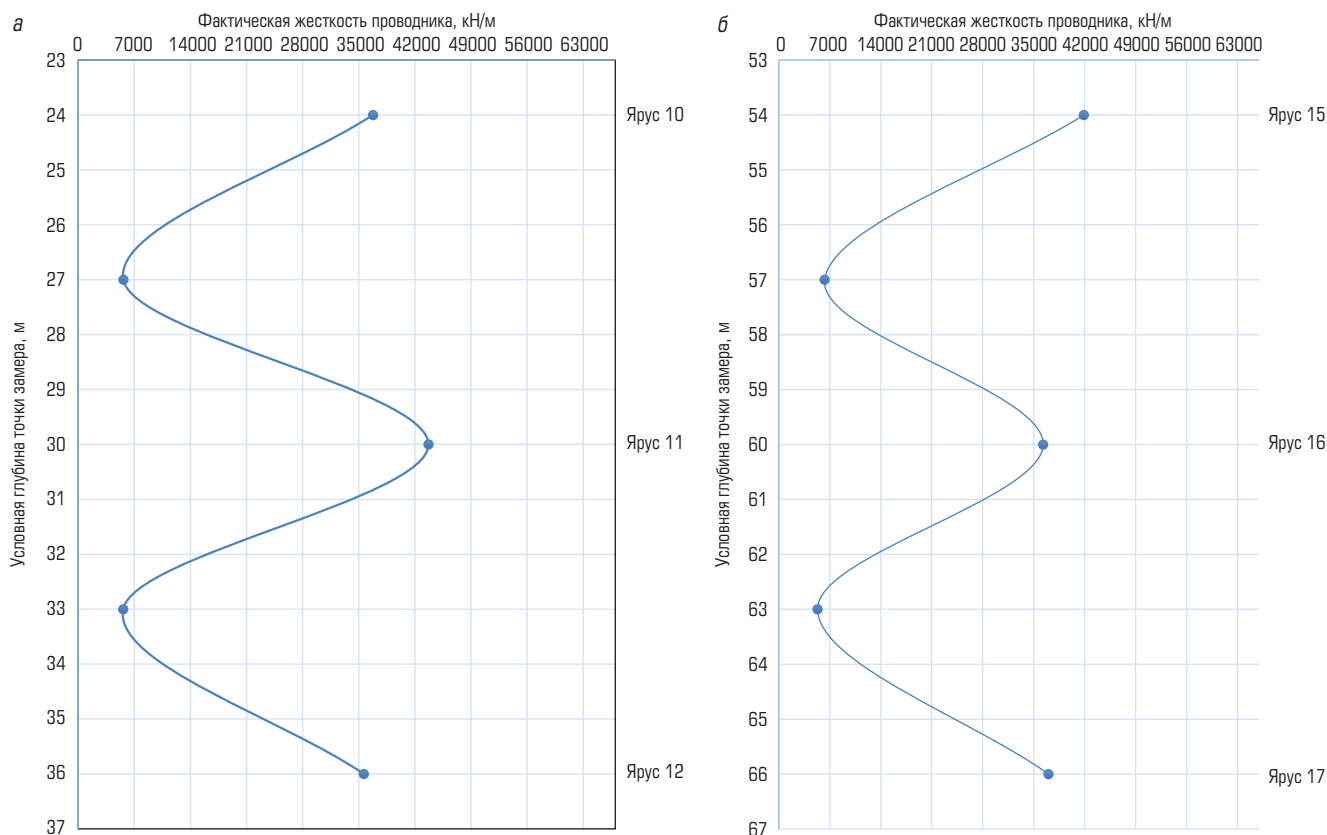


Рис. 2. Изменение фактической жесткости направляющего проводника в интервале ярусов 10–12 (а) и 15–17 (б) скипового ствола (шаг армировки 6 м)

яруса армировки, м. За единицу при этом приняты величины замеренной жесткости на ярусе.

Как видно из рис. 3, наименьшее значение коэффициента $k = 0,15$ характерно для шага армировки 6 м, для шага армировки 3 м коэффициент переменной жесткости армировки снижается более плавно и в среднем составляет 0,32.

Заключение

Таким образом, на основании результатов проведенных исследований можно сформулировать следующие выводы:

- жесткость направляющих проводников является величиной переменной и изменяется в пределах одного яруса армировки ствола;
- фактически замеренные величины жесткости направляющих проводников в целом совпадают с расчетными значениями жесткости как на уровне яруса армировки, так и в пролете между ярусами, что свидетельствует о достоверности полученных результатов;

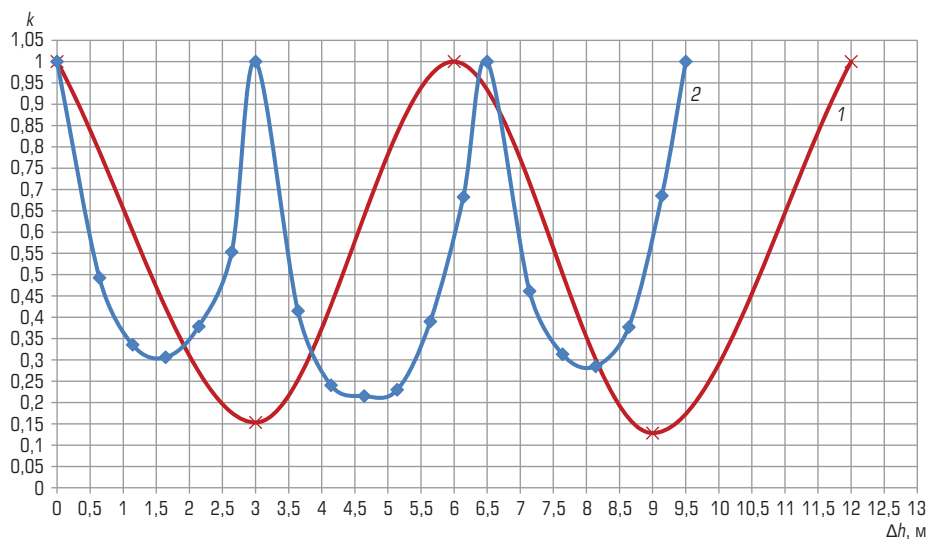


Рис. 3. Изменение коэффициента переменной жесткости направляющего проводника в скиповом стволе при шаге армировки 6 м (1) и 3 м (2)

- количественно оценить переменную жесткость направляющего проводника между двумя соседними ярусами армировки можно посредством коэффициента k ; характер изменения коэффициента k показан на рис. 3;

• изменение коэффициента переменной жесткости направляющего проводника k в значительной степени зависит от шага армировки; так, для увеличенного шага армировки 6 м отмечено снижение коэффициента k с 1 (замер на уровне яруса) до 0,15 (замер в пролете между двумя соседними ярусами армировки); подобное снижение может свидетельствовать о пониженной (в том числе и относительно расчетного значения) жесткости направляющего проводника в пролете между ярусами при увеличенном до 6 м шаге армировки.

В целом проведенные исследования позволили уточнить закономерности изменения жесткости направляющих проводников в шахтных стволах с различными параметрами систем армировок и показали необходимость учета фактической переменной жесткости направляющих проводников. Последнее особенно важно принимать во внимание при проектировании строящихся шахтных стволов, в том числе с увеличенным шагом армировки.

Библиографический список

1. *Баклашов И. В.* Расчет, конструирование и монтаж армировки стволов шахт. – М.: Недра, 1973. – 248 с.
2. *Залесов О. А.* Армировка вертикальных стволов шахт и ее исследование на электронных моделирующих установках. – М.: Недра, 1966. – 220 с.
3. *Ильин С. Р., Трифанов Г. Д.* Динамическая диагностика систем «сосуд–армировка» вертикальных шахтных стволов // Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 8. С. 29–34.
4. *Ильин С. Р., Трифанов Г. Д., Воробель С. В.* Комплексные экспериментальные исследования динамики скипов рудоподъемного ствола // Горное оборудование и электромеханика. 2011. № 5. С. 30–35.
5. *Прокопов А. Ю., Богомазов А. А., Басакевич С. В.* О расчете дополнительной вертикальной нагрузки на проводники жесткой армировки при их отклонении от проектного положения // Научно-технические проблемы разработки месторождений полезных ископаемых, шахтного и подземного строительства: сб. науч. тр. – Новочеркасск: Изд-во Южно-Российского государственного технического ун-та (Новочеркасский политехнический ин-т), 2006. С. 234–242.
6. *Пестрикова В. С.* Алгоритм расчета долговечности жестких армировок шахтных стволов, эксплуатируемых в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2019. № 4. С. 332–339.
7. *Пестрикова В. С., Тарасов В. В.* Исследование распределения скорости коррозионного износа элементов жесткой армировки на примере шахтных стволов Соликамского калийного рудоуправления № 3 Верхнекамского месторождения калийных солей // ГИАБ. 2016. № 8. С. 326–332.
8. *Ольховиков Ю. П.* Крепь капитальных выработок калийных и соляных рудников. – М.: Недра, 1984. – 238 с.
9. *Ольховиков Ю. П., Гоменюк В. И., Ярушин А. Д.* Рекомендации по проектированию армировок шахтных стволов калийных рудников. – Березники, 1974. – 42 с.

10. *Волошин А. И., Рубель А. А., Рубель А. В.* Армировки вертикальных шахтных стволов и методы их совершенствования // Геотехническая механика: сб. науч. тр. – Днепропетровск, 2016. Вып. 126. С. 137–145.
11. *Булат А. Ф., Слащев И. Н., Иконникова Н. А.* Принципы построения систем удаленного контроля безопасности шахт // Геотехническая механика: сб. науч. тр. – Днепропетровск, 2017. Вып. 137. С. 3–17.
12. *Гоменюк В. И.* Исследование проявления динамических нагрузок в шахтных стволах, закрепленных чугунной тубинговой крепью: на примере Верхнекамского калийного месторождения: дис. ... канд. техн. наук. – Пермь, 1974. – 211 с.
13. *Ильин С. Р., Радченко В. К., Адорская Л. Г.* Рискообразующие процессы при работе шахтных подъемных установок // Геотехническая механика: сб. науч. тр. – Днепропетровск, 2017. Вып. 134. С. 22–35.
14. *Рубель А. А.* Исследование существующих конструкций ярусов армировки вертикальных стволов и разработка схем ярусов с канатно-профильными проводниками // Геотехническая механика: сб. науч. тр. – Днепропетровск, 2017. Вып. 134. С. 211–227.
15. *Ozturk H., Guler E.* A methodology for lining design of circular mine shafts in different rock masses // International Journal of Mining Science and Technology. 2016. Vol. 26. Iss. 5. P. 761–768.
16. *Yagodkin F., Pleshko M., Prokopov A.* Perspective Schemes Equipment Ultra-deep Shafts // Procedia Engineering. 2017. Vol. 206. P. 293–298.
17. *Muhamedin Hetemi, Rafet Zeqiri.* Concept Paper on Shaft Sinking of the Mine “Trepca” in Stanterg New Horizons XIth to XIIIth // Journal of International Environmental Application and Science. 2016. Vol. 11. Iss. 1. P. 65–71.
18. *Brady B. H. G., Brown E. T.* Rock Mechanics For underground mining. 3rd ed. – Dordrecht: Springer, 2006. – 628 p.
19. *Konicek P., Schreiber J.* Heavy rockbursts due to longwall mining near protective pillars: A case study // International Journal of Mining Science and Technology. 2018. Vol. 28. Iss. 5. P. 799–805. [ГЖ](#)

«GORNYI ZHURNAL», 2021, № 4, pp. 47–51
DOI: 10.17580/gzh.2021.04.06

Variable actual stiffness of guides in potash mine shafts

Information about authors

V. S. Pestrikova¹, Senior Researcher, Candidate of Engineering Sciences, Pestrikova.Varvara@uralkalii.com
A. D. Yarushin¹, Engineer
V. V. Tarasov¹, Head of Laboratory of Mine Shaft Construction and Operation, Candidate of Engineering Sciences
D. N. Shkuratskiy¹, CEO, Candidate of Engineering Sciences

¹VNI Galurgii, Perm, Russia

Abstract

The article addresses serviceability of reinforcement in vertical mine shafts. The mathematical framework is presented for the dynamic processes in the capsule–reinforcement system. The main causes of the dynamic loads in the capsule–reinforcement system are discussed. The importance of the processes in the capsule–reinforcement system during movement of hoists in vertical mine shafts is emphasized. It is asserted that solely computational methods are not enough to analyze processes inside the capsule–reinforcement systems in shafts. It is required to examine actual parameters of shaft reinforcement, in particular, the actual stiffness of shaft guides. The actual measurement procedure of guide stiffness in potash mine shafts is presented. The full-scale tests data are set out in connection with the actual step of reinforcement in shafts. The actual and calculated values of stiffness of shaft guides are compared. Based on the obtained results, the variable stiffness

coefficient is derived for the shaft guide stiffness for a few alternative of reinforcement step. Considering the described research findings and the many years-long experience gained in operation of mine shafts, the authors have drawn a conclusion on the necessity to take into account the factor of variable stiffness of guides in shaft design and construction in potash mines in the Upper Kama Potash–Magnesium Salt Deposit, especially in case when the shaft reinforcement step exceeds the project design standards.

Keywords: mine shaft, hoisting capsule, dynamic load, guides, stiffness characteristics, bunton, reinforcement serviceability.

References

1. *Baklashov I. V.* Reinforcement design, engineering and installation in mine shafts. Moscow: Nedra, 1973. 248 p.
2. *Zalesov O. A.* Reinforcement of vertical mine shafts and the analysis on electronic simulators. Moscow: Nedra, 1966. 220 p.
3. *Ilin S. R., Trifanov G. D.* Run-time diagnostics of hoist capsule–reinforcement systems in vertical mine shafts. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2009. No. 8. pp. 29–34.
4. *Ilin S. R., Trifanov G. D., Vorobel S. V.* Integrated experimental research into dynamics of capsules in hoisting mine shafts. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2011. No. 5. pp. 30–35.
5. *Prokopov A. Yu., Bogomazov A. A., Basakevich S. V.* Calculation of additional vertical load on stiff reinforcement guides in case of their deviation from the design position. *Mineral Mining, Mine and Underground Construction: Science and Technology. Collection of Scientific Papers*. Novocherkassk: Izdatelstvo Yuzhno-Rossiyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Novocherkasskiy politekhnicheskii institut), 2006. pp. 234–242.

6. Pestrikova V. S. Algorithm for calculating the durability of rigid reinforcements of shaft operating under the conditions of Verkhnekamsky deposits of potassium salts. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2019. No. 4. pp. 332–339.
7. Pestrikova V. S., Tarasov V. V. Survey on distribution of corrosion wear rate of rigid equipment elements by the example of the mine shafts of Solikamsk potash mine № 3 of Verkhnekamskoye potash salt deposit. *GIAB*. 2016. No. 8. pp. 326–332.
8. Olkhovikov Yu. P. Support of permanent workings of potassium and salt deposits. Moscow : Nedra, 1984. 238 p.
9. Olkhovikov Yu. P., Gomenyuk V. I., Yarushin A. D. Recommendations on shaft reinforcement in potash mines. *Berezniki*, 1974. 42 p.
10. Voloshin A. I., Rubel A. A., Rubel A. V. Equipment for vertical mine shafts and methods for its improvement. *Geo-Technical Mechanics : Collected Scientific Papers*. Dnepropetrovsk, 2016. Vol. 126. pp. 137–145.
11. Bulat A. F., Slashchev I. N., Ikonnikova N. A. Principles for the development of remote control systems of the mine safety. *Geo-Technical Mechanics : Collected Scientific Papers*. Dnepropetrovsk, 2017. Vol. 137. pp. 3–17.
12. Gomenyuk V. I. Dynamic loads in mine shafts with cast-iron tubing support : A case-study of the Upper Kama Potash Deposit. Dissertation ... of Candidate of Engineering Sciences. Perm, 1974. 211 p.
13. Ilin S. R., Radchenko V. K., Adorskaya L. G. Risk-forming processes in the work of mine lifting units. *Geo-Technical Mechanics : Collected Scientific Papers*. Dnepropetrovsk, 2017. Vol. 134. pp. 22–35.
14. Rubel A. A. Study of existing structures of floors of vertical shaft equipment and development of schemes for floors with the rope-profiled guides. *Geo-Technical Mechanics : Collected Scientific Papers*. Dnepropetrovsk, 2017. Vol. 134. pp. 211–227.
15. Ozturk H., Guler E. A methodology for lining design of circular mine shafts in different rock masses. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2016. Vol. 26, Iss. 5. pp. 761–768.
16. Yagodkin F., Pleshko M., Prokopov A. Perspective Schemes Equipment Ultra-deep Shafts. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 206. pp. 293–298.
17. Muhamedin Hetemi, Rafet Zeqiri. Concept Paper on Shaft Sinking of the Mine "Trepca" in Stanterg New Horizons XIth to XIIIth. *Journal of International Environmental Application and Science*. 2016. Vol. 11, Iss. 1. pp. 65–71.
18. Brady B. H. G., Brown E. T. Rock Mechanics For underground mining. 3rd ed. Dordrecht : Springer, 2006. 628 p.
19. Konicek P., Schreiber J. Heavy rockbursts due to longwall mining near protective pillars: A case study. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018. Vol. 28, Iss. 5. pp. 799–805.

УДК 622.363.2:622.25

ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ДОЗАТОРНЫХ КОМПЛЕКСОВ В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ ВЕРХНЕКАМЬЯ



В. Н. АПТУКОВ,
главный научный сотрудник,
проф., д-р техн. наук



В. В. ТАРАСОВ,
заведующий лабораторией
строительства и эксплуатации
шахтных стволов, канд. техн. наук,
vladislav.tarasov@uralkali.com



В. С. ПЕСТРИКОВА,
старший научный сотрудник,
канд. техн. наук



О. В. ИВАНОВ,
ведущий инженер

АО «ВНИИ Галургии», Пермь, Россия

Введение

Комплекс дозаторных устройств является неотъемлемой частью вертикального шахтного ствола и относится к наиболее ответственными объектам подземного строительства. Его сооружение характеризуется сложностью, трудоемкостью выполнения работ, а также большим объемом капитальных вложений.

Исследовано взаимодействие жесткой крепи горных выработок с обладающими высокой ползучестью соляными породами. Проведен комплекс геомеханических натуральных наблюдений и установлены основные причины разрушения бетонной и железобетонной крепи в месте сопряжений ствола с выработками дозаторных устройств и шахтных бункеров. На основании проведенных исследований предложены проектные решения по обеспечению длительной безремонтной эксплуатации дозаторных комплексов в калийных рудниках Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей.

Ключевые слова: шахтный ствол, дозатор, шахтный бункер, ползучесть соляного массива, бетонная крепь, чугунно-бетонная крепь, податливый слой, сопряжение.

DOI: 10.17580/gzh.2021.04.07

Современный бункерный комплекс — это сложный механизированный околоствольный объект, состоящий из взаимосвязанных между собой различных устройств и выработок, которые обеспечивают перегрузку горной массы из транспортной системы шахты в систему шахтного подъема для доставки руды на поверхность [1].

Наиболее сложными объектами как по конструкции, так и по технологии горнопроходческих работ являются камеры скипового загрузочного комплекса или околоствольного двора, в который входят бункер-накопитель, дозаторное устройство и соединяющий их ленточный конвейер или питатель. На калийных и соляных рудниках сопряжения шахтного ствола с дозаторными комплексами проходят в устойчивых соляных породах подстилающей каменной соли (ПдКС).