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 Tulskogo 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

Исследовано взаимодействие жесткой крепи горных выработок с обладающими высокой ползучестью соляными породами. Проведен комплекс геомеханических натурных 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*

Введение

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

Комплекс геомеханических исследований

В практике строительства и эксплуатации вертикальных шахтных стволов на рудниках Верхнекамья получили распространение четыре основные схемы компоновки дозаторных камер и бункеров-накопителей (**рис. 1**):

- камеры дозаторов 1-го и 2-го скиповых подъемов разнесены по высоте на 2–3 диаметра ствола, бункер-накопитель расположен в 20–30 м от оси ствола (скиповой ствол Усть-Яйвинского рудника) (см. рис. 1, *а*);
- камеры дозаторов 1-го и 2-го скиповых подъемов расположены близко, бункер-накопитель расположен на 20–30 м от оси ствола (скиповые стволы рудника СКРУ-3 и БКПРУ-4) (см. рис. 1, *б*);
- бункер-накопитель находится непосредственно у ствола (скипоклетевые стволы рудника БКПРУ-2) (см. рис. 1, *в*);
- камера дозаторов и бункер-накопитель расположены непосредственно у ствола (скиповой ствол рудника СКРУ-2) (см. рис. 1, *г*).

Как правило, околоствольные дворы стволов, оборудованных только скиповыми подъемами, отличаются большим числом выработок и существенными объемами со сложной конфигурацией, поскольку загрузочные устройства располагаются по разные стороны ствола. В таких случаях суммарный объем пространства околоствольных выработок достигает 4–7 тыс. м^3. Несколько меньшими объемами характеризуются околоствольные дворы скипоклетевых стволов калийных рудников [2].

На основе теоретических и экспериментальных исследований установлено, что соляные породы под действием горного давления испытывают необратимые деформации без видимого разрушения (неограниченная ползучесть) [3–8]. На сегодняшний день такое представление достаточно широко изучено и распространено. При проектировании стволов на Верхнекамском месторождении в 1960–1970-х годах данный фактор не учитывали, поэтому при строительстве стволов на Верхнекамском месторождении в то время использовали опыт возведения дозаторных комплексов, заимствованный из горнорудной промышленности [2], где для крепления стенок ствола была выбрана жесткая, монолитная бетонная и железобетонная крепь. Как показывает практика, подобные проектные решения были неэффективными, поскольку монолитная бетонная и железобетонная крепь не способна длительно сдерживать давление соляного массива. Учитывая, что дозаторные комплексы располагают на глубине более 400 м, при таком размещении создаются условия для интенсификации процессов деформирования соляной толщи с последующим разрушением крепи стволов [5, 6].

Так, например, в скиповом стволе Третьего Соликамского калийного рудника дозаторный комплекс скомпонован таким образом, что наклонный бункер-накопитель цилиндрического сечения с западной и восточной сторон отдален от ствола на 30 м (см. рис. 1, *б*). Подачу руды осуществляют по взвешивающему конвейеру и далее через дозаторное устройство загружают в скип. Камеры бункеров, конвейеров и питателей восточного и западного комплексов пройдены в 1980 г. в подстилающей каменной соли на глубине 380 м. При компоновке загрузочных комплексов

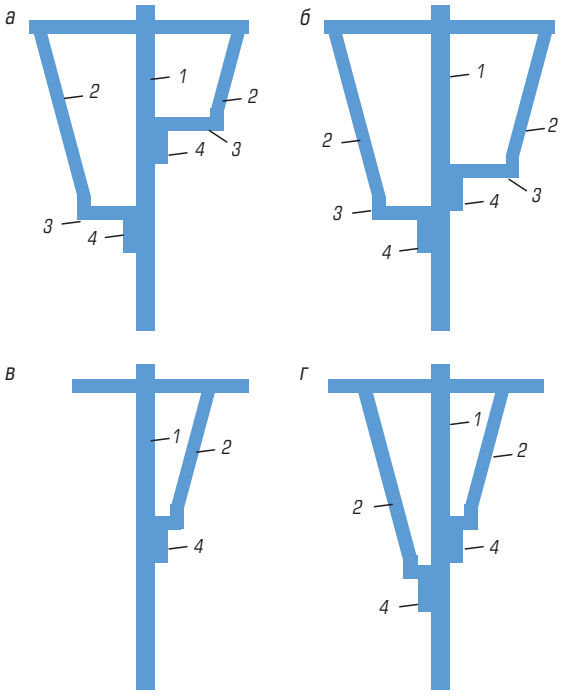

Рис. 1. Комплекс камер загрузочного устройства скипового подъема:
1 – шахтный ствол; *2* – бункер-накопитель; *3* – камера конвейеров и питателей; *4* – дозатор

принята схема с двухсторонним (относительно ствола) расположением выработок без разнесения по вертикали одного относительно другого. Бункеры расположены в наклонных выработках в одной плоскости с углом падения 70° (**рис. 2**). В комплексе дозатора ствола в интервале глубин 418,7–428,7 м на востоке и 435,2–445,3 м на западе в местах примыкания к стволу камер дозаторов сооружена двойная крепь – бетонная (стена ствола) и железобетонная (стена дозатора с гибкой арматурой).

Между двумя стенками заложен деформационный шов из дерева толщиной 50 мм. Согласно проекту, крепь ствола и крепь дозаторов имеют возможность «проскальзывания» относительно друг друга, т. е. существует возможность некоторой радиальной податливости. Горизонтальные швы бетонирования при заходках в некоторой степени могут выполнять роль вертикальной разгрузки крепи за счет ослабленного контакта бетона между соседними заливками. При этом в крепи ствола отсутствуют горизонтальные (круговые) деформационные швы для вертикальной податливости крепи. Таким образом, крепь скипового ствола в районе дозаторных комплексов обладает высокими показателями жесткости.

При обследовании крепи скипового ствола установлено, что из-за деформации соляных пород кровли и усилий бокового распора имели место локальные расслоения пород кровли. Для количественной оценки устойчивости пород кровли по рекомендациям ОАО «Галургия» в 2003 г. были оборудованы наблюдательные станции, установленные в шпурах, пробуренных в кровле на длину до 3 м [7]. Перед установкой реперов шпуры были обследованы

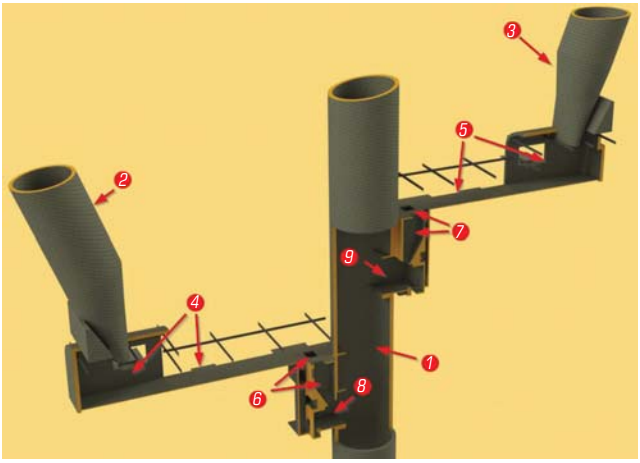

Рис. 2. Комплекс камер загрузочного устройства скипового ствола № 1:
1 – ствол; *2*, *3* – западный и восточный бункеры;
4, *5* – западная и восточная камеры питателей и конвейеров;
6, *7* – западный и восточный дозаторы; *8*, *9* – западная и восточная камеры загрузочных устройств

эндоскопом на всю длину. Результаты осмотра показали, что вся толща кровли имеет систему трещин расслоения. Результаты геомеханических исследований показали, что кровля камер конвейеров западного и восточного отделений по высоте 2,8 м прогибается с расслоением до 0,6–0,7 мм/мес, горизонтальная конвергенция составила 0,7 мм/мес. Измерениями вертикальной конвергенции в дозаторных камерах зафиксировано пучение почвы величиной от 13 до 28 мм для восточной стороны, и от 8 до 12 мм – для западной.

Таким образом, на сегодняшний день в камерах дозаторного комплекса скипового ствола фиксируются повреждения бетонной крепи в виде многочисленных трещин и вывалов. В 2019 г. в стенках дозаторных камер установлено 12 парных реперов с целью ежемесячного измерения раскрытия трещин и сдвижения стен внутренних помещений камер в западном и восточном отделениях. По итогам мониторинга на протяжении года отмечено, что раскрытие (закрытие) трещин по стенкам камер варьируется в пределах не более 0,2–0,6 мм. При этом численные значения, полученные при замерах смещения (сужения) боковых стен камер дозаторов, показали смещение выработки на 11 мм (или приблизительно 0,92 мм/мес). Таким образом, происходит сжатие выработок под действием горного давления и ползучести соляных пород.

На примере скипоклетевых стволов Второго Березниковского калийного рудника, введенных в эксплуатацию в 1969–1970 гг., установлено, что уже на следующий год после запуска в эксплуатацию были обнаружены значительные деформации сводов и стенок камер дозаторного комплекса, а также смещение ярусов армировки в стволе. Необходимо отметить, что у скипоклетевых стволов Второго Березниковского калийного рудника общешахтные бункеры построены без отнесения их от дозаторных комплексов, имеют прямоугольную форму размером 4000×6000 мм высотой 26470 мм с углом наклона 60° (см. рис. 1, *в*).

Дальнейшими длительными исследованиями было установлено, что за период 1980–1985 гг. (т. е. через 12–15 лет после окончания строительства) смещение стенок дозаторной камеры достигает 130–160 мм (0,7–0,9 мм/мес). При таких деформациях происходят: растрескивание бетонной крепи, потеря продольной устойчивости стальных опорных конструкций, имеющих жесткое защемление обоих концов, а также наблюдается передача усилий от деформируемых конструкций дозатора на бетонную крепь и армировку ствола. При этом имело место искривление (сужение) колеи проводников, что, в свою очередь, приводило к зажатию подъемных сосудов и аварийной остановке подъема. Впоследствии для исправления аварийной ситуации в 2008–2011 гг. были реализованы мероприятия по реконструкции бетонной крепи. Проект реконструкции включал в себя замену разрушенной бетонной крепи в скипоклетевых стволах на комбинированную чугунно-бетонную.

Негативная ситуация с крепью скипоклетевых стволов на сопряжении с дозаторными комплексами Второго Березниковского калийного рудника послужила поводом для разработки мер охраны крепи дозаторного комплекса при строительстве скипоклетевого ствола № 2-бис Первого Соликамского калийного рудника. В соответствии с проектом, выполненным ВНИИГ, вокруг комплекса «ствол – дозаторная камера» в соляном массиве были пройдены разгрузочные полости размером от 1000×1000 до 1000×2000 мм и высотой от 4 до 17 м. Кроме того, благодаря применению пластинчатого питателя длиной 7 м было увеличено расстояние между общешахтным бункером и стволом. Выполненные меры охраны по истечении 46 лет эксплуатации ствола показали положительный эффект. В первую очередь следует отметить более рациональные формы, размеры и местоположение отдельных элементов камеры дозатора по сравнению с другими дозаторными комплексами. Тем не менее в целом избежать разрушений бетонной крепи камер и выработок не удалось. Это стало возможным по причине того, что принятые в проекте технические решения на практике оказались не соответствующими реальным условиям. К таким решениям можно отнести следующие:

- использование в качестве крепления для вертикальных стен и сводов камеры дозаторов железобетонной крепи в жестком исполнении (без податливого слоя);
- жесткое защемление обоих концов несущих металлоконструкций различного назначения, что в условиях деформации ползучести соляного массива привело к их прогибу и потере осевой устойчивости;
- устройство рядом со стволом камеры большого сечения в соляном массиве высотой 16700 мм, шириной 12000 мм и глубиной до 8000 мм, что предопределило высокую интенсивность проявления деформаций.

Предпринятые в течение 2008–2010 гг. защитные меры в настоящее время обеспечивают безопасные условия эксплуатации комплекса скипоклетевого ствола № 2-бис, но полностью не исключают дальнейшего деформирования и разрушения крепи ствола и камеры дозаторов.

В скиповом стволе рудника БКПРУ-4 при сооружении дозаторного комплекса принято, что наклонный бункер-накопитель цилиндрического сечения с западной и восточной сторон отдален от ствола на 30 м (см. рис. 1, *б*). При проектировании скипового ствола на руднике БКПРУ-4 было признано достаточным применить железобетон для крепления стенки, а примыкание выработок выполнить через деформационный шов толщиной 50 мм, заполненный древесиной, для защиты крепи ствола и выравнивания внешней нагрузки. По проекту деформационный шов должен был располагаться по окружности на внешней поверхности кольцевой крепи ствола. Однако на сопряжениях с отступлением от проекта деформационный шов выполнен прямолинейным, что существенно изменило геометрию крепи в узлах примыкания выработок дозаторных комплексов к стволам. Вследствие изменения формы деформационного шва на прямолинейный элементы железобетонной крепи ствола превратились в мощные блоки, и деформационный шов не защищает крепь ствола от внешних нагрузок радиального направления. Такое расположение деформационного шва может гасить лишь нагрузки, направленные параллельно оси конвейерной выработки. В результате вся конструкция – блок крепи ствола, деформационный шов и приствольная стенка – работают на сжатие вдоль деформационного шва. Уже по итогам первых 5–10 лет эксплуатации были зафиксированы первые признаки деформирования крепи, в том числе изменение геометрии ярусов армировки, деформация бетонной крепи в виде трещин, отслоений и вывалов.

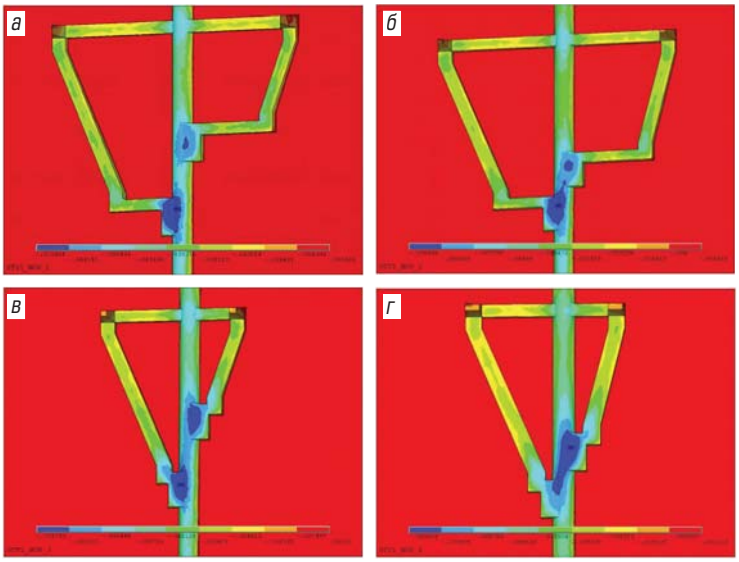

Рис. 3. Горизонтальная конвергенция в дозаторных камерах (ДК) перпендикулярно плоскости чертежа, м:
а – базовый вариант (УКК); *б* – расстояние между кровлей нижней ДК и почвой верхней ДК составляет 5 м; *в* – длина выработки с ДК минимальная; *г* – объединенные варианты *б* и *в*

Таким образом, в том и другом случае для стволов с четырьмя скипами и взаимно параллельным расположением дозаторных комплексов относительно друг друга уже в процессе эксплуатации выявляются допущенные при проектировании и строительстве недостатки. Из них можно выделить основные:

- дозаторные комплексы следовало разнести по высоте на расстояние 2–3 диаметров ствола, как это было сделано в скиповом стволе Усть-Яйвинского рудника;
- в качестве крепи выбрана жесткая железобетонная крепь, которая не способна противостоять деформациям ползучести соляного массива;
- реализовано жесткое защемление концов всех металлических балок различного назначения, что приводит к их продольным деформациям.

При утверждении проектных решений следует принимать во внимание реологические характеристики соляного массива месторождения и понимать, что это естественный (природный) фактор, который не может быть устранен [9, 10].

В скиповом стволе Второго Соликамского калийного рудника дозаторный комплекс скомпонован таким образом, что камера дозаторов и бункер-накопитель расположены непосредственно у ствола (см. рис. 1, *г*). Здесь воплощены наиболее рациональные технические решения, которые обеспечили длительную безремонтную эксплуатацию сложного узла на протяжении 40 лет. В качестве основных таких решений можно выделить следующие:

- общешахтные бункеры не отнесены от ствола, но при этом выработки пройдены по одной оси с камерами дозаторов;
- реализованы компактное размещение камер, ходовых отделений и рациональное размещение оборудования;
- бетонная крепь ствола и дозаторного комплекса покрыта антикоррозионным составом и соответствует проекту без нарушений технологии ее возведения и времени на набор прочности.

При этом зафиксированные при обследовании незначительные нарушения крепи ствола в виде шелушения поверхности бетона и небольших трещин не представляют какой-либо угрозы для безопасной эксплуатации дозаторного комплекса [11, 12]. Наряду с инженерными оценками прочности стволов и натурными наблюдениями (мониторингом) в настоящее время широко применяют методы математического моделирования для прогнозирования деформирования и потери устойчивости различных горно-технических сооружений в соляных породах [13–15].

Ниже приведены результаты математического моделирования по оценке влияния расстояния между дозаторными камерами (ДК) и расстояния между нижней частью бункеров и стволом на деформирование породного массива с течением времени. Породный соляной массив описывали моделью вязкоупругого материала с учетом пластического упрочнения. Расчеты выполняли в 3D-постановке (**рис. 3**) с использованием пакета ANSYS. Верификацию расчетной модели осуществляли на основе натурных измерений [13, 14].

На **рис. 4** показаны две группы кривых:

- нижняя группа – временные зависимости вертикальной конвергенции в подходящей выработке нижней ДК вблизи ее сопряжения с ДК;

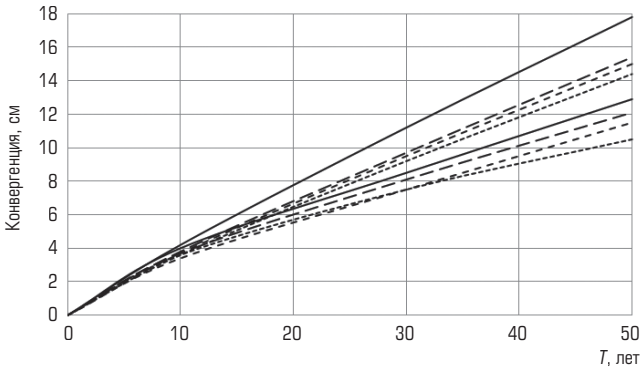

Рис. 4. Временна́я зависимость вертикальной и горизонтальной конвергенции

• верхняя группа – временные зависимости горизонтальной конвергенции (перпендикулярно плоскости чертежа, см. рис. 1) в нижней ДК вблизи ее сопряжения со стволом (для варианта рис. 1, *г* – в верхней ДК).

Сплошной линией обозначен вариант рис. 1, *а*; длинным пунктиром – вариант рис. 1, *б*; коротким пунктиром – вариант рис. 1, *в*; точечной линией – вариант рис. 1, *г*.

Как можно заметить, различие между вариантами *а* и *г* по величине вертикальной и горизонтальной конвергенции составляет 20–25 %. Именно горизонтальная конвергенция при большой боковой площади дозаторной камеры и является основной причиной разрушения бетонной крепи как ДК, так и ствола. Во всех вариантах наклон дозаторных камер сохраняли одинаковым. Наилучший вариант – базовый (см. рис. 1, *а*), наихудший вариант для сближенных ДК и минимального расстояния между бункерами и стволом представлен на рис. 1, *г*.

Расчеты проведены для чистого породного массива без бетонной крепи и податливого слоя. Поэтому размеры ствола, выработок и бункеров приняты не в чистом виде. Например, диаметр ствола в расчетах принят 8,7 м = 7 м (чистый) + 1 м (бетонная крепь) + 0,7 м (податливый слой).

Заключение

Таким образом, по результатам обследований и длительного опыта промышленной эксплуатации рекомендуется при проектировании и строительстве подземных дозаторных комплексов в соляных породах калийных рудников учитывать комплекс мер, способствующих безаварийной их эксплуатации:

• дозаторные комплексы ствола следует разносить по высоте на расстояние 2–3 диаметров ствола;

• в качестве постоянной крепи принять монолитную бетонную крепь с податливым слоем либо более устойчивую комбинированную чугунно-бетонную крепь, которая способна длительно противостоять деформациям ползучести соляного массива;

• крепление металлических балок расстрелов к крепи ствола осуществлять с элементами податливости, обеспечивающими компенсацию продольных и боковых деформаций расстрела при смещении массива и крепи ствола.

Дополнительным способом защиты ствола от негативного воздействия соляного массива является использование деформационных швов, отделяющих бетонную крепь ствола от бетонной крепи его сопряжения с горизонтальными выработками [16, 17].

Учитывая особенности соляных пород на вновь строящихся рудниках Верхнекамья, в настоящее время при разработке сопряжений с дозаторными комплексами предусматривают меры, обеспечивающие существенную надежность, долговечность и безопасность эксплуатации как самого «узла сопряжения», так и сопряженной выработки в целом.

Библиографический список

1. *Соловьев В. А., Аптуков В. Н., Тарасов В. В., Котляр Е. К.* Охрана общешахтных бункеров в соляных породах калийных рудников // Горный журнал. 2019. № 7. С. 96–99. DOI: 10.17580/gzh.2019.07.09
2. *Ольховиков Ю. П.* Крепь капитальных выработок калийных и соляных месторождений. – М. : Недра, 1984. – 238 с.
3. *Тарасов В. В., Аптуков В. Н., Пестрикова В. С.* Особенности деформирования и разрушения бетонной крепи вертикального ствола на сопряжении с горизонтальными выработками // ФТПРПИ. 2020. № 5. С. 54–59.
4. *Барях А. А., Константинова С. А., Асанов В. А.* Деформирование соляных пород. – Екатеринбург : УрО РАН, 1996. – 204 с.
5. *Проскуряков Н. М., Пермяков Р. С., Черников А. К.* Физико-механические свойства соляных пород. – Л. : Недра, 1973. – 272 с.
6. *Judeel G. du T., Keyter G. J., Harte N. D.* Shaft sinking and lining design for a deep potash shaft in squeezing ground // 12th International Congress on Rock Mechanics. – London : Taylor & Francis, 2012. P. 1697–1704.
7. *Mansouri H., Ajalloeian R.* Mechanical behavior of salt rock under uniaxial compression and creep tests // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2018. Vol. 110. P. 19–27.
8. *Wei Liu, Xiong Zhang, Jinyang Fan, Jiangjiang Zuo, Zhixin Zhang, Jie Chen*. Study on the mechanical properties of man-made salt rock samples with impurities // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2020. Vol. 84. 103683. DOI: 10.1016/j.jngse.2020.103683.
9. *Соловьев В. А., Аптуков В. Н., Тарасов В. В., Котляр Е. К.* Охрана сопряжений шахтных стволов с примыкающими выработками в соляных породах // Известия вузов. Горный журнал. 2017. № 3. С. 18–23.
10. *Плешко М. С., Насонов А. А., Дымникова О. В., Рябова Н. В.* Обеспечение комплексной безопасности работ по восстановлению и реконструкции шахтных стволов // ГИАБ. 2020. № 7. С. 104–112.
11. *Боликов В. Е., Константинова С. А.* Прогноз и обеспечение устойчивости капитальных горных выработок. – Екатеринбург, 2003. – 373 с.
12. *Elnabolsy K.* Shaft Construction Methods Comparison. 2015. URL: https://ru.scribd.com/document/321024640/Shaft-Construction-Methods-Comparison (дата обращения: 19.12.2020).
13. *Булычев Н. С., Абрамсон Х. И.* Крепь вертикальных стволов шахт. – М. : Недра, 1978. – 301 с.
14. *Renani H. R., Martin C. D., Hudson R.* Back Analysis of Rock Mass Displacements Around a Deep Shaft Using Two- and Three-Dimensional Continuum Modeling // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2016. Vol. 49. Iss. 4. P. 1313–1327.
15. *Wang L., Bérest P., Brouard B.* Mechanical Behavior of Salt Caverns: Closed-Form Solutions vs Numerical Computations // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2015. Vol. 48. Iss. 6. P. 2369–2382.
16. *Грязев М. В., Качурин Н. М., Афанасьев И. А., Стась П. П.* Динамика деформаций и нормальных тангенциальных напряжений в бетонной крепи вертикальных стволов при замене разрушенных тюбингов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2018. № 4. С. 127–134.
17. *Плешко М. С., Сильченко Ю. А., Панкратенко А. Н., Насонов А. А.* Совершенствование расчетно-экспериментальных методов проектирования шахтных стволов // ГИАБ. 2019. № 12. С. 55–66. ГК

«GORNYI ZHURNAL», 2021, № 4, pp. 51–56
DOI: 10.17580/gzh.2021.04.07

Construction and operation of batching plants in difficult geological conditions of Upper Kama potash mines

Information about authors
V. N. Aptukov [1], Chief Researcher, Professor, Doctor of Engineering Sciences
V. V. Tarasov [1], Head of Laboratory of Mine Shaft Construction and Operation, Candidate of Engineering Sciences, vladislav.tarasov@uralkali.com
V. S. Pestrikova [1], Senior Researcher, Candidate of Engineering Sciences
O. V. Ivanov [1], Leading Engineer

[1] VNII Galurgii, Perm, Russia

Abstract
Scenarios of the component arrangement of batching plants in the system of a vertical mine shaft are discussed. The features of operation of batching plants in vertical shafts of potash mines are identified. The actual recorded damages generated in the lining of batching plants in the course of their long-term operation in potash mines are described. The geomechanical researches aimed to determine vertical convergence in batching rooms of mine shafts, as well as for monitoring of crack opening and displacements in sidewalls in the batching chambers are presented. The major results of the full-scale geomechanical observations are reported, and the main causes of fractures in concrete and reinforced concrete lining at junctures of shafts and batching rooms and shaft bins are identified. The set of the engineering solutions implemented for the protection of lining in batching facilities during construction of mine shafts is described, and its efficiency is evaluated. The mathematical modeling is carried out to estimate various negative impacts on deformation and fracture of concrete lining in shafts with regard to the time factor. From the modeling results, the dominant cause of concrete lining damage in batching chambers and in mine shaft is found. Based on the accomplished research results and actual long-term experience of operation of mine shafts, the most favorable factors are determined for the best design choices in construction and long-term maintenance-free operation of batching plants in potash mines of the Upper Kama Potash–Magnesium Salt Deposit.

Keywords: mine shaft, batching plant, shaft bin, salt rock mass creep, concrete lining, cast iron concrete lining, yielding layer, juncture.

References

1. Solovyev V. A., Aptukov V. N., Tarasov V. V., Kotlyar E. K. Protection of mine bins in saliferous rock mass of potash mines. *Gornyi Zhurnal*. 2019. No. 7. pp. 96–99. DOI: 10.17580/gzh.2019.07.09
2. Olkhovikov Yu. P. Support of permanent workings of potassium and salt deposits. Moscow : Nedra, 1984. 238 p.
3. Tarasov V. V., Aptukov V. N., Pestrikova V. S. Deformation and failure of concrete lining in vertical shaft at intersections with horizontal tunnels. *Journal of Mining Science*. 2020. Iss. 5. pp. 54–59.
4. Baryakh A. A., Konstantinova S. A., Asanov V. A. Rock salt deformation. Ekaterinburg : UrO RAN, 1996. 204 p.
5. Proskuryakov N. M., Permyakov R. S., Chernikov A. K. Physico-mechanical properties of salt rocks of the Verkhnekamskoe potash deposit. Leningrad : Nedra, 1973. 272 p.
6. Judeel G. du T., Keyter G. J., Harte N. D. Shaft sinking and lining design for a deep potash shaft in squeezing ground. *12th International Congress on Rock Mechanics*. London : Taylor & Francis, 2012. pp. 1697–1704.
7. Mansouri H., Ajalloeian R. Mechanical behavior of salt rock under uniaxial compression and creep tests. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2018. Vol. 110. pp. 19–27.
8. Wei Liu, Xiong Zhang, Jinyang Fan, Jiangjiang Zuo, Zhixin Zhang, Jie Chen. Study on the mechanical properties of man-made salt rock samples with impurities. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2020. Vol. 84. 103683. DOI: 10.1016/j.jngse.2020.103683.
9. Solovev V. A., Aptukov V. N., Tarasov V. V., Kotlyar E. K. Mine shafts intersections with adjoining mine workings in saliferous rocks protection. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal*. 2017. No. 3. pp. 18–23.
10. Pleshko M. S., Nasonov A. A., Dymnikova O. V., Ryabova N. V. Overall safety of recovery and reconstruction of mine shafts. *GIAB*. 2020. No. 7. pp. 104–112.
11. Bolikov V. E., Konstantinova S. A. Forecast and guaranteeing of stability of permanent mine openings. Ekaterinburg, 2003. 373 pp.
12. Elnabolsy K. Shaft Construction Methods Comparison. 2015. Available at: https://ru.scribd.com/document/321024640/Shaft-Construction-Methods-Comparison (accessed: 19.12.2020).
13. Bulychev N. S., Abramson Kh. I. Vertical mine shaft support. Moscow : Nedra, 1978. 301 p.
14. Renani H. R., Martin C. D., Hudson R. Back Analysis of Rock Mass Displacements Around a Deep Shaft Using Two- and Three-Dimensional Continuum Modeling. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2016. Vol. 49, Iss. 4. pp. 1313–1327.
15. Wang L., Bérest P., Brouard B. Mechanical Behavior of Salt Caverns: Closed-Form Solutions vs Numerical Computations. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2015. Vol. 48, Iss. 6. pp. 2369–2382.
16. Gryazev M. V., Kachurin N. M., Afanasev I. A., Stas P. P. Dynamics of deformations and normal tangential stresses in concrete lining vertical shafts by replacing destroyed tubings. *Izvestiya Tulskogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2018. No. 4. pp. 127–134.
17. Pleshko M. S., Silchenko Yu. A., Pankratenko A. N., Nasonov A. A. Improvement of the analysis and calculation methods of mine shaft design. *GIAB*. 2019. No. 12. pp. 55–66.