

**В.В. Тарасов, О.В. Иванов**

## **РЕКОНСТРУКЦИЯ БЕТОННОЙ КРЕПИ ШАХТНОГО СТВОЛА № 3 РУДНИКА БКПРУ-2 ПАО «УРАЛКАЛИЙ» В УСЛОВИЯХ НЕПРЕРЫВНО ДЕЙСТВУЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА**

Приведено краткое описание проходки и крепления шахтных стволов рудника БКПРУ-2 в интервале соляных пород. Рассмотрены основные недостатки применения монолитной бетонной крепи вертикальных шахтных стволов на Верхнекамском месторождении калийных солей. На основании результатов шахтных исследований и представленных примеров, проанализированы основные причины разрушения бетонной крепи в районе сопряжений ствола с горизонтальными выработками. Подробно представлены основные причины разрушения монолитной бетонной крепи шахтного ствола № 3 рудника БКПРУ-2. Отмечены результаты проведенных локальных аварийно-восстановительных работ в бетонной части ствола № 3. Приведено обоснование применения чугунной тюбинговой крепи взамен разрушенной бетонной. Выполнено сравнение схем расположения рабочих и предохранительных настилов (полков), используемых непосредственно при работе в стволе № 3 в отличие от схем, применяемых в стволах № 1 и № 2 рудника БКПРУ-2. Также представлены основные этапы проведенной реконструкции бетонной крепи в условиях непрерывно действующего производства с учетом проведения ежесуточных регламентных работ на комплексе шахтного подъема ствола № 3 согласно технологическому регламенту.

Ключевые слова: шахтный ствол, бетонная крепь, чугунно-бетонная крепь, вентиляция, соляной массив, деформация.

**Н**а Верхнекамском месторождении строительство шахтных стволов в интервале соляных пород велось обычным способом с применением буровзрывных работ, а крепление — монолитным бетоном.

Шахтные стволы рудника БКПРУ-2 были закончены строительством в конце 60-х годов прошлого века. К тому времени не были еще исследованы условия длительной эксплуатации

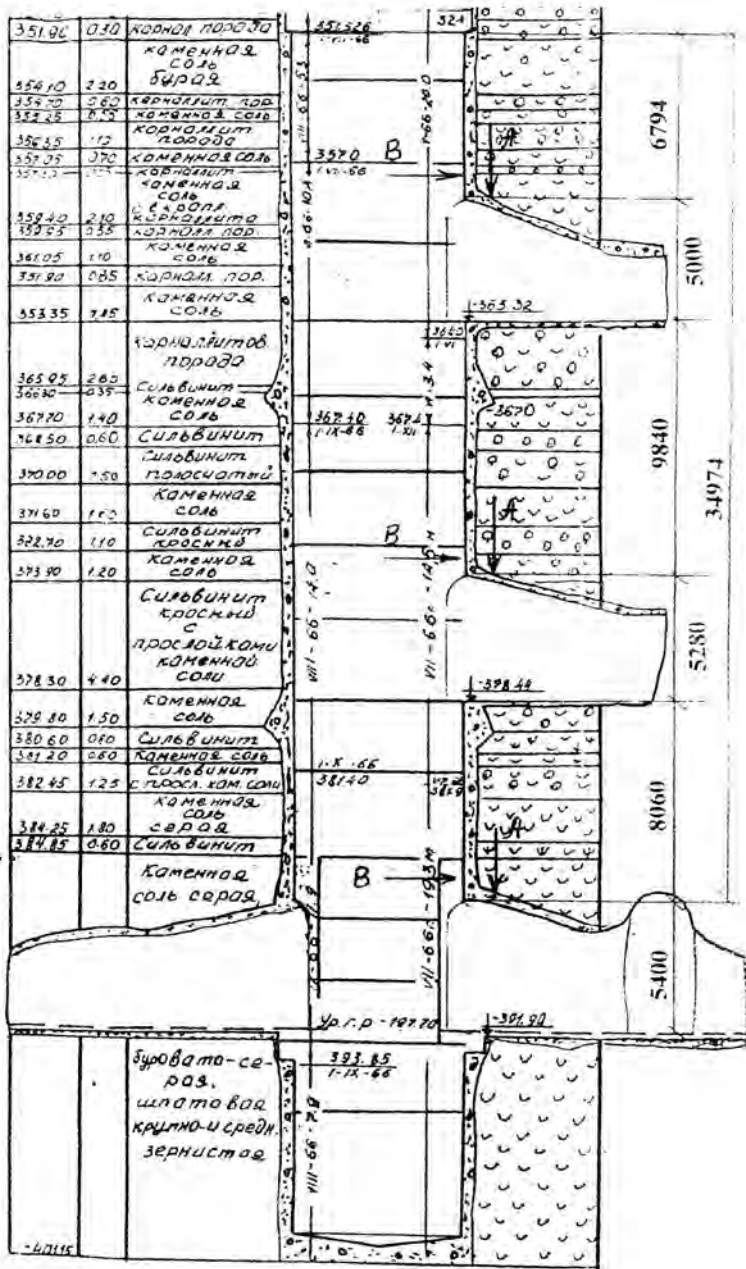


Рис. 1. Схема расположения сопряжений ствола № 3 рудника БКПРУ-2

жестких монолитных крепей стволов в условиях деформирующегося соляного массива. Поэтому нижняя часть ствола № 3, как и у стволов № 1 и № 2, была закреплена бетоном. С увеличением сроков эксплуатации этих стволов в резкой форме, а порою в аварийном порядке, обозначилось несоответствие характеристик бетонной крепи условиям ее эксплуатации. Вследствие деформирования и запредельного роста внешних нагрузок началось разрушение бетонной крепи. В большей степени из трех пройденных стволов на руднике БКПРУ-2 данное обстоятельство негативно отразилось на стволе № 3.

Вентиляционный ствол № 3 рудника БКПРУ-2 был закончен проходкой в 1967 г. Диаметр ствола в свету составляет 7,0 м, глубина проходки порядка 401 м. Ствол оснащен двумя одноэтажными клетями, имеет лестничное ходовое отделение запасного выхода из шахты, в стволе также расположены трубопроводы гидрозакладочного комплекса. Верхняя часть ствола в обводненных надсолевых породах проходила под защитой ледопородного ограждения и закреплена до глубины 351 м двухслойной чугунно-бетонной крепью. Нижняя часть ствола была закреплена монолитным бетоном толщиной порядка 500 мм. Ствол имеет три сопряжения на глубинах (по подошве) 362,22 м (с горизонтом пласта АБ), 378,44 м (с горизонтом пласта Кр.ІІ) и на глубине 391,8 м (с горизонтом рудвора) [1], рис. 1.

### **Причины разрушения бетонной крепи в стволе № 3 БКПРУ-2**

Несоответствие жесткой монолитной бетонной крепи ствола № 3 рудника БКПРУ-2 условиям ее эксплуатации в соляном массиве стало главной причиной появившихся процессов разрушения крепи. При этом, первоначально разрушения бетонной крепи появились в интервале расположения сопряжения ствола с рабочими горизонтами каменная соль и на пласте Кр.ІІ. Так, расстояние между почвой сопряжения с вентиляционным горизонтом пласта АБ (глубина 363,32 м) и кровлей сопряжения с вентиляционным горизонтом пласта Кр.ІІ составило всего 9,84 м, что в условиях мелкослоистого соляного массива и при наличии пластов карналлита не обеспечило устойчивости «потолочины» между двумя сопряжениями [2].

В первую очередь разрушилась крепь горизонтальной части сопряжений на пластах АБ и Кр.ІІ, а затем началось обрушение кровли сопряжения пласта Кр.ІІ. Со временем над приствольной частью сопряжения образовался купол объемом порядка

500 м<sup>3</sup>, а «потолочина» между сопряжениями уменьшилась до двух метров, тем самым возникла угроза полного ее обрушения. При ликвидации этой угрозы купол был заполнен солеотходами, а сопряжение с пластом АБ вообще погашено [3].

Склонность соляных пород к длительному деформированию без разрыва (ползучесть) общеизвестна, но не была учтена при выборе схемы расположения сопряжений ствола № 3, типа и габаритов крепи ствола в соляной части разреза.

Прежде всего, это относится к выбору жесткой монолитной бетонной крепи и возведению бетонной крепи примыкающих к стволу горизонтальных сопряжений как одно целое с вертикальной кольцевой (круговой) крепью ствола. Во всех случаях, когда крепь горизонтальных выработок была соединена с крепью ствола, когда какие-то элементы крепи (например, бетонная стенка обходной выработки на соляном горизонте и бетонная крепь сопряжений с вентиляционными выработками) были «поставлены» под вертикальную нагрузку от соляного массива, происходили разрушения этих элементов, что влекло за собой разрушение и вертикальной крепи ствола, и крепи горизонтальных сопряжений [4].



Рис. 2. Разрушение армировки ствола № 3 рудника БКПРУ-2 (2007 г.)

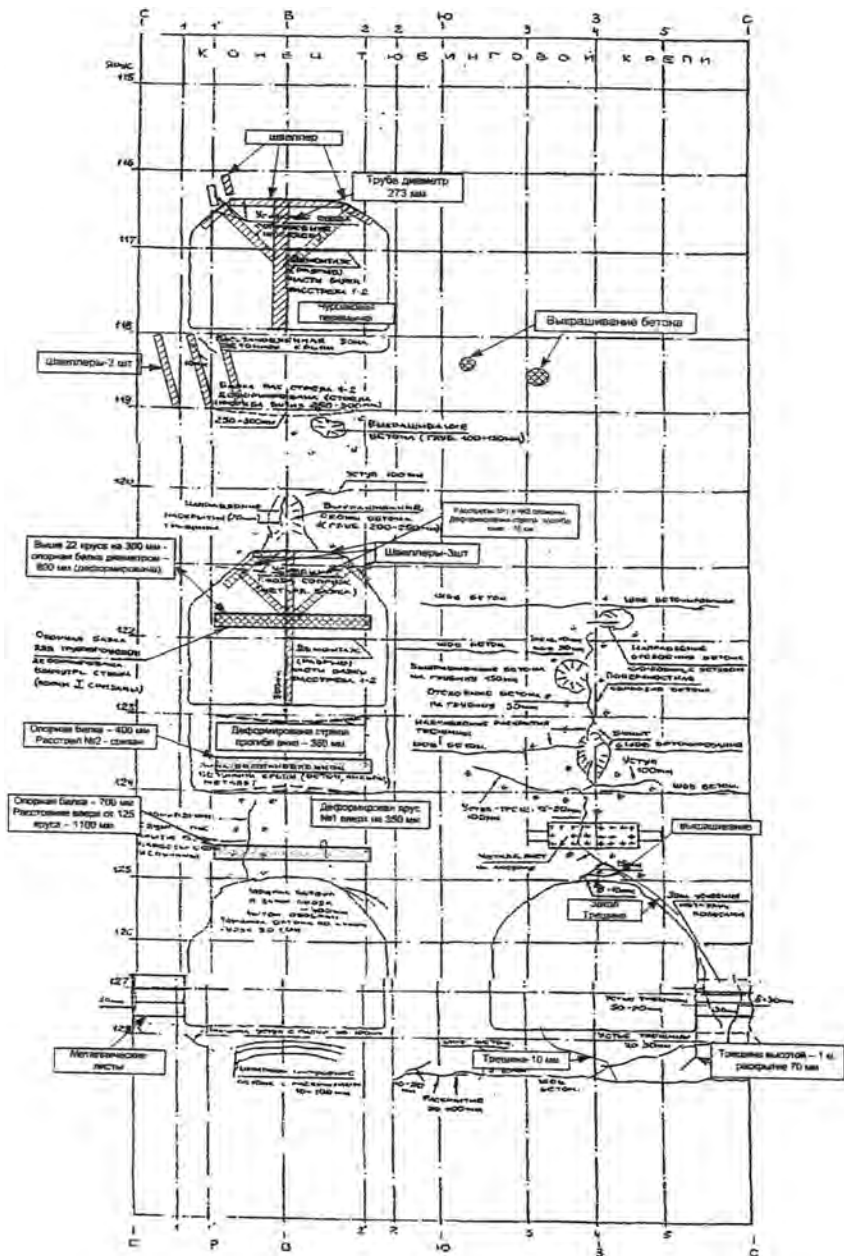


Рис. 3. Состояние бетонной крепи ствола № 3 рудника БКПРУ-2 перед реализацией проекта 1-Б-20.06-3-ТХ

Вторым фактором, определившим сроки и характер разрушения бетонной крепи ствола, было расположение трех сопряжений друг над другом по одной стенке ствола.

В результате начавшегося разрушения бетонной крепи ствола произошло деформирование ярусов армировки, что привело к «зависанию» подъемных сосудов. Затем, деформирование элементов армировки превысило допустимые пределы, и началось разрушение расстрелов, рис. 2. К 2007 г. возможности поддержания крепи ствола в состоянии, обеспечивающем безопасную эксплуатацию с применением каких-то локальных ремонтно-восстановительных мер, оказались практически исчерпаны. В целом состояние бетонной крепи на 2007 г. представлено на рис. 3.

После комиссионного обследования руководством ПАО «Уралкалий» было принято решение о замене бетонной крепи на двухслойную, чугунно-бетонную. Следует отметить, что к моменту принятия решения о проведении реконструкции бетонной крепи в стволе № 3 рудника БКПРУ-2 уже был реализован проект по замене бетонной части крепи в стволе № 2, и подходил к завершению проект по замене бетонной крепи в стволе № 1 этого же рудника.

Главным критерием выбора в пользу тюбинговой крепи с бетонным заполнителем является ее значительно бóльшая несущая способность к восприятию горного давления соляного массива по сравнению с монолитной бетонной крепью [5].

### **Реконструкция бетонной крепи ствола № 3 рудника БКПРУ-2**

Реконструкция бетонной крепи ствола № 3 рудника БКПРУ-2 проводилась в период с ноября 2011 г. по июнь 2012 г. по рабочему проекту 1-Б-20.06-3-ТХ, разработанному проектной контрольной ЗАО «Шахтспецпроект». Для работ по реконструкции крепи ствола были применены чугунные тюбинговые кольца типа 7,0-50-2 высотой 1,5 м, которые собирались на болтах из 13 тюбингов. Затюбинговое пространство заполнялось бетоном класса В25. Началу работ предшествовала маркшейдерская съемка высотных отметок, что особенно значимо при определении условий стыковки «новой» крепи с существующей.

Следует отметить, что основной объем работ производился без снятия подъемных сосудов (одноэтажных клетей) и при работе главной вентиляторной установки (ГВУ) в паспортном режиме. Клетки выступали в качестве транспорта доставки рабо-

чих, инструментов и материалов, а также под ними по стволу осуществляли спуск чугунных тубингов для новой тубинговой колонны. Уже внизу на уровне рабочих полков производилось зацепление тубингов на канат монтажной лебедки.

В соответствии с принятым техническим решением, производство работ включало в себя несколько основных этапов:

- подготовительные работы;
- углубление зумпфовой части ствола до проектной отметки — 399,250 м;
- замена бетонной крепи ствола на двухслойную, чугунно-бетонную в интервале глубин отметок — 399,250 м — 351,750 м;
- демонтаж разрушенной бетонной части обходной выработки соляного горизонта, с последующим восстановлением новой бетонной стенки, с тубингами со стороны ствола и деформационным слоем сверху над соляной кровлей сопряжения;
- замена ярусов армировки и опорных балок трубопроводов на участке реконструкции ствола;
- замена элементов ходового отделения запасного выхода из шахты на участке реконструкции ствола;
- замена деревянных, направляющих проводников клетового отделения северной и южной стороны ствола отметок глубин 391,57 м — 351,750 м;
- замена опорных подкулачных балок с установкой новых посадочных кулаков на сопряжении с соляным горизонтом.

В интервале отметок глубин от 399,95 до 351,52 м проектом предусматривалась установка 32 новых тубинговых колец, с количеством тубингов в каждом кольце — 13. Самое верхнее тубинговое кольцо за № 32 на стыке старой и новой тубинговой крепи было изготовлено с высотой тубингов в 1 м. По результатам уточнения высотных отметок установлено, что в зазор узла примыкания новой тубинговой крепи к существующей тубинговой колонне (т.к. № 324), стандартный тубинг высотой 1,5 м установить невозможно. При этом оставлять участок свободной бетонной крепи высотой более 1,2 м было признано нецелесообразным по причине низкой устойчивости соляного массива. Поэтому было принято решение о разработке и заказе специального тубингового кольца с высотой тубингов 1 м.

На примере ранее проведенных работ в стволах № 1 и № 2 рудника БКПРУ-2 в период 2007–2010 гг. была разработана схема расположения рабочих и предохранительных полков, с которых производились все основные работы, связанные с реконструкцией бетонной крепи. Деревянные элементы рабочих

и предохранительных полков в стволах № 1, 2 располагались по всему периметру вокруг ствола сплошным слоем, оставляя в центре поперечного сечения проем для прохода воздуха в шахтные выработки. Размер проема определялся расчетами специалистами вентиляционной службы рудника. Для обеспечения условий безопасной работы крепильщиков в стволе во время работы проем закрывался металлической решеткой. Данное расположение полков позволяло производить работы по всему периметру ствола со свободным доступом к бетонной крепи. Все технологические операции, начиная от разламывания старой бетонной крепи и заканчивая заполнением бетонной смеси за новое тьюбинговое кольцо, осуществлялись с рабочего полка, который настилался один раз на металлоконструкции расстрелов нового яруса армировки. В дополнение к этому, после монтажа очередного тьюбингового кольца возникла необходимость возведения второго этажа рабочих полков, или так называемых «подмостей». Конструкция «подмостей» опиралась на нижний рабочий полок при помощи деревянных стоек, раскрепленных между собой наклонными и поперечными брусками. С верхнего полка производились работы по монтажу следующего тьюбингового кольца новой колонны, и в этом же кольце устанавливался следующий ярус армировки, на который затем переносился нижележащий рабочий полок, и так далее выше по стволу.

Таким образом, была реализована оптимальная скорость перемещения рабочих и предохранительных полков с точки зрения технологии производства и обеспечения подземных выработок свежим воздухом.

Следует выделить, что схема расположения рабочих полков в стволах № 1, 2 несколько отличалась от схемы, предложенной для реконструкции ствола № 3. Применительно к условиям работы в стволе № 3 определенные неудобства возникали при разработке схемы и площади рабочих полков для размещения непосредственных исполнителей работ, а также оборудования и инструмента. Согласно ЕПБ 03-553-03, максимальная скорость воздуха в стволах не должна превышать 15 м/с. Показатели замеров скорости воздушной струи в стволе № 3, выполненные перед началом работ по реконструкции ствола, при номинальной производительности главной вентиляторной установки (ГВУ), составляли от 18 до 25 м/с. При таких параметрах производительности ГВУ, рудник мог работать на полную мощность одновременно всеми имеющимися на тот момент



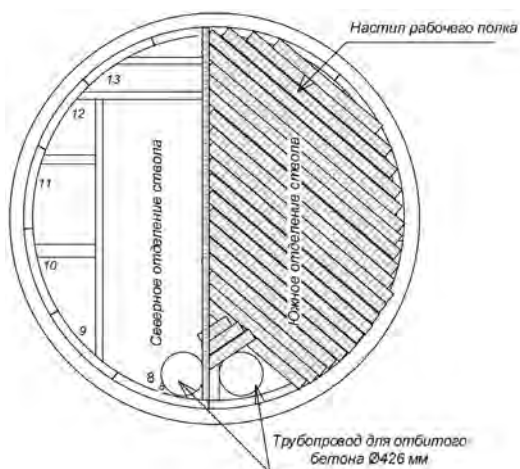


Рис. 4. БКПРУ-2. Рудник. Ствол № 3, схема расположения рабочих полков

комбайновыми комплексами. Однако руководству рудника необходимо было принять решение о снижении номинальной нагрузки на ГВУ в период работ по реконструкции ствола № 3, начиная с отметки минус 377 м. На сопряжении со стволом отметки пласта Кр. II, скорость воздуха достигала уровня 25 м/с. Снижение номинальной нагрузки на ГВУ было вынужденной мерой. Также необходимо было определить площадь и конфигурацию рабочих полков. Главное изменение заключалось в месте

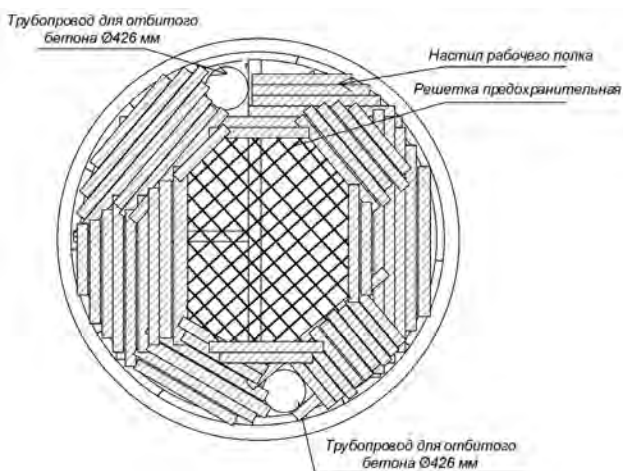


Рис. 5. БКПРУ-2. Рудник. Стволы № 1, 2 схема расположения рабочих полков

расположения деревянных перекрытий. В отличие от стволов № 1 или № 2, (рис. 4 и 5) рабочие полки и подмости в стволе № 3 размещали поочередно в разных отделениях ствола, разделяя его поперечное сечение пополам. Таким образом, была изменена технология замены бетонной крепи и замедлилась скорость работ по реконструкции. Ступенчатая схема переноса рабочих полков из одной части ствола в другую смогла обеспечить достаточную проходимость отработанных воздушных масс из горных выработок шахты через усеченный створ ствола, тем самым было найдено рациональное решение в обеспечении горных выработок свежим воздухом при плановой загрузке мощностей рудника.

Необходимо указать, что снижение темпов работ по реконструкции ствола обусловлено следующими причинами:

- рабочие и предохранительные полки размещаются только на одной половине ствола, вторая при этом остается свободной для вентиляции;
- все работы, начиная от разрушения старой бетонной крепи и заканчивая монтажом тюбингов кольца, производятся только на одной половине ствола;
- после окончания работ в одной части ствола происходит перестановка рабочих и предохранительных полков в другую часть, где еще присутствует старая бетонная крепь на одной и той же отметке. Далее весь перечень работ повторялся аналогично также как и для первой части ствола.

После стыковки двух половин тюбингового кольца производили заливку затюбингового пространства бетоном всего кольца полностью. Во время подачи бетона производили снижение производительности ГВУ и приостанавливали работу комбайновых комплексов в шахте. Заполнение зазора «тюбинг — породная стенка» проектом предусмотрено произвести бетоном класса В25.

Известно, что прочность швов бетонирования, как правило, не превышает 28–30% от прочности основного бетона. Поэтому обустройство «шва бетонирования» было расположено на 100–150 мм ниже поверхности верхнего фланца тюбингового кольца, рис. 6.

В период реконструкции бетонной крепи были обнаружены размытые полости в породной стенке, которые до этого не были диагностированы. Во время производства работ по разрушению бетонной крепи под установку тюбинговых колец № 4 и № 5 были зафиксированы пустоты в соляном массиве высотой

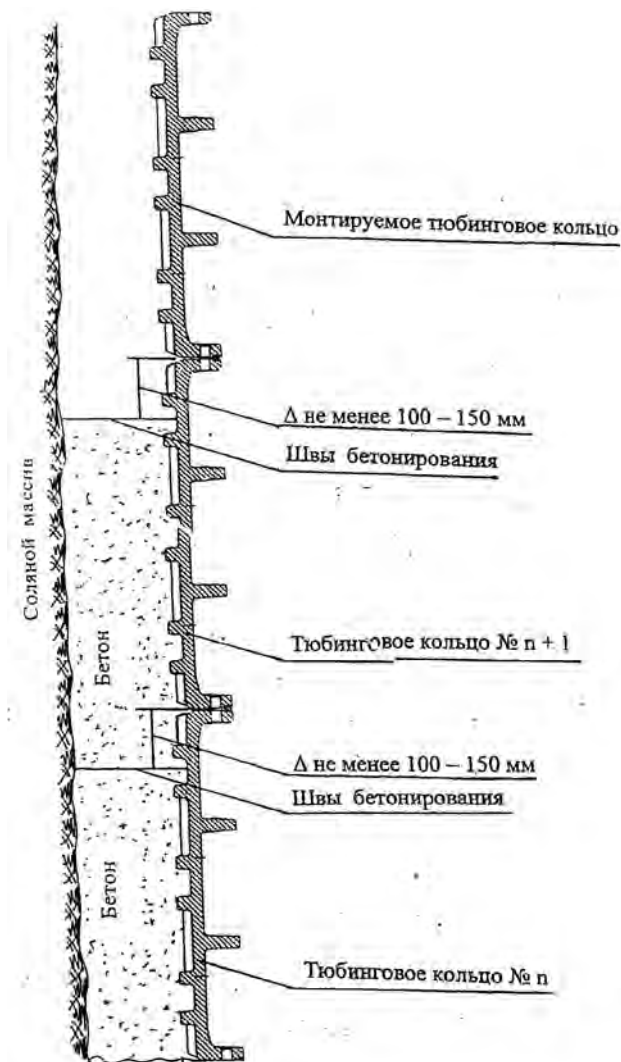


Рис. 6. Схема расположения стыкового шва бетонирования за тюбингами в интервале реконструкции крепи ствола № 3 рудника БКПРУ-2

до 2,5 м непосредственно под посадочной площадкой соляного горизонта. Полости распространялись радиально вокруг ствола, сужаясь вглубь массива по высоте. При производстве работ по реконструкции все пустоты были заполнены бетоном. Объем заполняемых бетоном пустот составил порядка 45 м<sup>3</sup>.

Следует отметить, что весь перечень работ по реконструкции бетонной крепи ствола № 3 проходил в условиях непрерывно действующего основного производства калийного рудника. При этом весь спектр требуемых регламентных работ по стволу, включая ежедневные осмотры ствола, подъемных и тормозных канатов, а также проверка защит и блокировок подъемной машины, проводились в строго отведенное время. Кроме того, в период реконструкции проводились испытания парашютных устройств (ловителей), установленных на клетях с временной остановкой работ по реконструкции не более чем на 8 часов.

В целом все технические решения, заложенные в проект реконструкции крепи и армировки ствола № 3 рудника БКПРУ-2, реализованы в полном объеме, что подтверждено документами сдачи объекта.

Таким образом, проведенная в 2011–2012 гг. реконструкция крепи и армировки ствола № 3 позволила решить возникшую проблему деформированной крепи в интервале соляных пород, тем самым обеспечила дальнейшую безремонтную эксплуатацию ствола в сложных горно-геологических условиях Верхнекамского калийного месторождения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Технический паспорт шахтного ствола № 3 рудника БКПРУ-2 ОАО «Уралкалий»: отчет о НИР / ОАО «Галургия»; рук. В.В. Тарасов. – Пермь, 2013. – 30 с.*
2. *Рекомендации по выполнению комплекса работ для дальнейшей безаварийной эксплуатации ствола № 3 рудника БКПРУ-2: отчет о НИР / ОАО «Галургия»; рук. Ю.П. Ольховиков. – Пермь, 2010. – 36 с.*
3. *Обоснование необходимости ликвидации сопряжения ствола № 3 рудника БКПРУ-2 с пластом АБ. / ОАО «Галургия»; рук. Ю.П. Ольховиков. – Пермь, 2002. – 14 с.*
4. *Константинова С. А., Боликов В. Е.* Прогноз и обеспечение устойчивости капитальных горных выработок. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2003. – 274 с.
5. *Ольховиков Ю. П.* Крепь капитальных выработок калийных и соляных рудников. – М.: Недра, 1984. – 238 с. **ПАБ**

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Тарасов Владислав Викторович*<sup>1</sup> – зав. лабораторией,  
e-mail: tarasov@gallurgy.ru,  
*Иванов Олег Викторович*<sup>1</sup> – ведущий инженер,  
e-mail: Ivanov.Oleg@gallurgy.ru,

<sup>1</sup> ОАО Уральский научно-исследовательский и проектный институт галургии (ОАО «Галургия»).

**V.V. Tarasov, O.V. Ivanov**

**RECONSTRUCTION OF THE CONCRETE LINING  
OF THE MINE SHAFT № 3 OF BEREZNIKI  
POTASH PLANT AND MINE 2 OF URALKALI PJSC  
IN CONDITIONS OF CONTINUOUS PRODUCTION**

There is a short description of mine shaft sinking and lining of Berezniki potash plant and mine 2 (BKPRU-2) in the interval of saliferous rocks. Main defects of monolith concrete lining of vertical mine shafts in Verkhnekamskoye potash salt deposit have been considered. Based on the results of mine surveys and presented samples main reasons of the concrete lining destruction in the area of the shaft junction with level workings have been analyzed. Main reasons of destruction of the monolith concrete lining of the mine shaft № 3 of BKPRU-2 are presented in detail. Results of the performed local emergency recovery work in concrete section of the shaft № 3 are specified. Feasibility of cast-iron tubbing use instead of the destructed concrete lining is presented. A comparison of layout of stages and preventive floors (scaffolding) has been performed, which are used directly by operation in the shaft № 3 contrary to layouts applied in the shafts № 1 and № 2 of BKPRU-2. Also main stages of the carried out reconstruction of the concrete lining in conditions of continuous production are presented taking into account daily maintenance works in complex of mine hoisting of the shaft № 3 subject to the process procedure.

Key words: mine shaft, concrete lining, cast iron-concrete lining, ventilation, salt massif, deformation.

**AUTHORS**

*Tarasov V.V.*<sup>1</sup>, Head of Laboratory, e-mail tarasov@gallurgy.ru,

*Ivanov O.V.*<sup>1</sup>, Leading Engineer, e-mail Ivanov.Oleg@gallurgy.ru,

<sup>1</sup> Open Joint Stock Company Ural Research and Development Institute of Halurgy (Galurgia OJSC), 614002, Perm, Russia.

**REFERENCES**

1. *Tekhnicheskiy pasport shakhtnogo stvola № 3 rudnika BKPRU-2 OAO «Uralkaliy»: otchet o NIR.* OAO «Galurgiya» (Technical data sheet of the mine shaft № 3 of Berezniki potash plant and mine 2 of Uralkali OJSC, report on research work, Galurgia OJSC), Perm, 2013, 30 p.

2. *Rekomendatsii po vypolneniyu kompleksa rabot dlya dal'neyshey bezavariynoy ekspluatatsii stvola № 3 rudnika BKPRU-2: otchet o NIR.* OAO «Galurgiya» (Recommendations on performance of the works complex for further accident-free operation of the shaft № 3 of Berezniki potash plant and mine 2, report on research work, Galurgia OJSC), Perm, 2010, 36 p.

3. *Obosnovanie neobkhodimosti likvidatsii sopryazheniya stvola № 3 rudnika BKPRU-2 s plastom AB.* OAO «Galurgiya» (Statement of need to liquidate a junction of the shaft № 3 with AB seam of Berezniki potash plant and mine 2, Galurgia OJSC), Perm, 2002, 14 p.

4. Konstantinova S. A., Bolikov V. E. *Prognoz i obespechenie ustoychivosti kapital'nykh gornykh vyrabotok* (Forecast and sustaining capital mining), Ekaterinburg, IGD UrO RAN, 2003, 274 p.

5. Ol'khovikov Yu. P. *Krep' kapital'nykh vyrabotok kaliynnykh i solyanykh rudnikov* (Support of permanent workings in potash and salt mines), Moscow, Nedra, 1984, 238 p.