

К вопросу об использовании полимерных материалов в строительстве подземных сооружений*

С.Г. Страданченко¹, С.А. Масленников¹, А.Ю. Прокопов²,
К.В. Маштакова¹, Я.Ю. Махонько¹, К.С. Яковлева¹

¹ Шахтинский институт (филиал) Донского государственного технического университета, Шахты

² Ростовский государственный строительный университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Цель исследований - разработка конструкции комбинированной крепи, обеспечивающей длительную эксплуатацию горных выработок при наличии агрессивных, высоконапорных подземных вод. Проблема защиты от подземных вод особо актуальна для горных предприятий, занимающихся добычей калийных солей. Наиболее широко распространенная крепь из чугунных тюбингов не обеспечивает ни требуемой водонепроницаемости, ни долговечности. Недостатки сталебетонных крепей выявлены на основе анализа опыта их применения в России и за рубежом. В статье описана предложенная авторами конструкция комбинированной крепи с водонепроницаемым экраном из стеклопластика. Высокая прочность, стойкость в агрессивных средах, возможность обеспечения полной водонепроницаемости при относительно не высокой стоимости определяют преимущества предложенной крепи. Выполненные расчеты показали, что в определенных условиях предложенная конструкция крепи может эффективно заменять дорогостоящие чугунно-бетонные и сталебетонные крепи.

Ключевые слова: горные выработки, комбинированная крепь, стеклопластик, бетон, чугунные тюбинги, долговечность.

В горном деле существуют области, в которых водоприток в основные вскрывающие выработки является важнейшим параметром оценки безопасности работы предприятия в целом. Так при подземной разработке калийных месторождений в целях обеспечения безопасной эксплуатации рудников необходима надежная изоляция горных выработок от проникновения в них подземных (надсолевых) вод или рассолов. В связи с легкой растворимостью солей движение проникающих вод по трещинам, контактам соленосных отложений и вмещающих пород, по скважинам и горным выработкам способствует образованию новых и расширению уже имеющихся трещин (пустот, карстовых полостей, воронок), что в конечном итоге может явиться причиной значительных осложнений при разработке соляных залежей подземным способом. Для РФ эта проблема особо

актуальна, так, как мы являемся одним из мировых лидеров в производстве калийных удобрений. 95% добычи ведется компаниями Уралкалий и Сильвинит. Добыча на обоих предприятиях происходит исключительно подземным способом.

За последние 100 лет в мире (Германия, Канада, Россия и др.) затоплено более 80 калийных рудников, в том числе в России - рудники БКРУ-3 (1986 г.) и БКРУ-1 (2006 г.) Верхнекамского месторождения [1,2]. На многих предприятиях с прорывами рассолов в горные выработки безуспешно боролись в течение десятков лет.



Рис. 1. – Провалы на поверхности,
возникшие вследствие затопления рудника БКРУ-1

На шахтные стволы, пересекающие водоносные горизонты, приходится около 70 % случаев аварийных водопроявлений [1,3]. Одними из основных причин являются: разгерметизация кейлькранцев; ненадежность методов закрепного тампонажа; прорывы вод в шахтный ствол через тубинговую колонну; проницаемость бетонной рубашки за тубинговой крепью; нарушение вмещающих пород системой водопроводящих трещин, образованных при буровзрывных работах [4,5].

В [1] автор делает вывод об исчерпани возможности совершенствования тубинговой крепи для калийных рудников, что

обуславливает необходимость перехода на сплошные (бесшовные) крепи. По его мнению, наиболее перспективными являются сталебетонные крепи, состоящие из двух сварных стальных цилиндров с «промежуточным» бетоном. Подобные крепи не имеют стыков и, как следствие, водонепроницаемы. Их высокая стоимость должна компенсироваться снижением затрат на обслуживание и ремонт в период эксплуатации [6].

Широкий опыт применения сталебетонной крепи за рубежом выявил ряд ее недостатков:

- сталь корродирует под воздействием шахтной воды со скоростью 0,02-0,2 мм в год. В агрессивной среде этот процесс происходит еще интенсивнее;

- долговечность крепи со слоем стали напрямую зависит от условий эксплуатации. В кислой среде срок службы железобетонных элементов может снижаться до 4-5 лет, в насыщенной солями - до 7 лет. Ствол же является основной вскрывающей выработкой и эксплуатируется в течение всего срока службы шахты или рудника;

- монтаж в стесненных условиях ствола крупноразмерных элементов из стали затруднен ввиду их большого веса, также увеличение веса крепи приводит к росту нагрузки на нижележащие участки крепи и вмещающий породный массив;

- сталь является самым дорогим компонентом крепи и в отдельных случаях ее стоимость может составлять более половины всех затрат на строительство.

Авторами разработано альтернативное решение. Крепь предложенной конструкции включает внешний слой набрызгбетона, водонепроницаемую оболочку из стеклопластика, основную грузонесущую конструкцию из монолитного бетона или железобетона, слой затампонированных пород.

Внешний слой набрызгбетона наносится на породные стенки ствола для выравнивания их поверхности, передачи давления от породного массива на внутренние слои крепи, а также для выравнивания гидростатического давления на водонепроницаемую оболочку [7,8].

Водонепроницаемая оболочка из стеклопластика предназначена для восприятия давления подземных вод и передачи его на основную грузонесущую конструкцию, а также для защиты последней от вредного влияния внешней среды. Гарантируемый производителем срок эксплуатации стеклопластика в кислой, щелочной и других агрессивных средах - не менее 80 лет [9]. Отсутствие коррозии и одинаково высокая прочность, как при сжатии, так и при растяжении (в четыре раза выше, чем у стали) позволяют повысить гибкость водонепроницаемой оболочки, существенно снизить ее толщину и стоимость крепи в целом.

Основная грузонесущая конструкция из монолитного бетона или железобетона эксплуатируется в благоприятных условиях, без доступа агрессивной внешней среды. Отсутствие связей между водонепроницаемой оболочкой и основной грузонесущей конструкцией позволяет слоям незначительно перемещаться друг относительно друга при деформациях изгиба ствола, снимая напряжения и препятствуя разрушению крепи. В случае необходимости внутренняя поверхность стеклопластика может быть дополнительно обработана составами уменьшающими трение и адгезию.

Увеличение несущей способности крепи предложенной конструкции может осуществляться использованием при изготовлении основного грузонесущего слоя высокопрочных бетонов или железобетона.

Для оценки применимости предложенной конструкции было проведено ее сравнение с чугунно-бетонной крепью. Расчет выполнялся для следующих условий: глубина участка 500 м, породы - слабые аргиллиты, величина

давления подземных вод 1,7 МПа, отступ крепи от забоя – 1 м. Параметры сравниваемых крепей приняты следующими:

- Базовый вариант. Чугунные тубинги из серого чугуна марки Сч 21-40, с толщиной стенки 20 мм, бетон В20, толщина слоя 500 мм.

- Предлагаемая крепь. Бетон – высокопрочный, класса В60, толщина слоя - 400 мм. Стеклопластик – прочность 700 МПа, модуль упругости 50 ГПа, толщина 10 мм. Набрызгбетон – В20, толщина 90 мм.

Анализ выполнен аналитическим методом по методике разработанной проф. Булычевым Н.С. [10]. Предполагалось, что гидростатическое давление полностью восстанавливается на гидроизолирующем слое. В соответствии с принятой методикой, в качестве разрушающих рассматривались нормальные тангенциальные напряжения $\sigma_{\theta}^{\text{in}}(i)$, возникающие на внутренней поверхности слоя. Результаты расчета приведены в табл. (см. табл. 1). Как видно из табл. 1, предложенная конструкция в рассматриваемых условиях может служить заменой чугунно-бетонной крепи.

В столбцах 3 и 5 приведены данные о нормальных тангенциальных напряжениях при давлении только со стороны породного массива, в столбцах 4 и 6 данные о напряжениях в основных грузонесущих слоях при гидростатическом давлении 1,7 МПа, приложенном к гидроизолирующему слою.

Уровень напряжений в наиболее напряженном слое тубинговой крепи – внутренних ребрах тубингов составил 93% от их прочности, для предлагаемой конструкции – в грузонесущем слое бетона - 98%. Таким образом, предлагаемая крепь может служить для крепления неглубоких стволов на всю глубину, либо для крепления отдельных участков ствола при пересечении им водоносных горизонтов, с величиной гидростатического давления до 2 МПа.

Таблица № 1

Величина напряжений в слоях предлагаемой и чугуно-бетонной крепи

Наименование слоя	Нормальные тангенциальные напряжения	Предлагаемая крепь		Базовый вариант	
Слой затампонированных пород / затюбинговый бетон	$\sigma_{\theta}^{\text{in}}(4)$, МПа	7,0	-	11,0	-
	$\sigma_{\theta}^{\text{ex}}(4)$, МПа	5,6	-	10,0	-
Набрызгбетон / затюбинговый бетон	$\sigma_{\theta}^{\text{in}}(3)$, МПа	7,5	-	66,9	-
	$\sigma_{\theta}^{\text{ex}}(3)$, МПа	7,4	-	66,2	-
Слой стеклопластика / стенки тюбингов	$\sigma_{\theta}^{\text{in}}(2)$, МПа	19,5	42,6	43,3	164,6
	$\sigma_{\theta}^{\text{ex}}(2)$, МПа	19,4	42,5	43,0	163,8
Высокопрочный бетон / внутренние ребра тюбингов	$\sigma_{\theta}^{\text{in}}(1)$, МПа	16,1	35,1	45,2	171,8
	$\sigma_{\theta}^{\text{ex}}(1)$, МПа	14,7	32,0	43,7	166,3

* представленные результаты получены в рамках выполнения гранта МК-6986.2015.8 по теме «Разработка инновационных конструктивных и технологических решений при креплении вертикальных стволов шахт и рудников» и Госзадания Минобрнауки России №1.10.14 по теме «Ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии освоения подземного пространства на основе комплексного мониторинга всех стадий жизненного цикла инженерных объектов и систем».

Литература

1. Швецов Г.И. Проблемы защиты калийных рудников от затопления // Горный журнал. 2007. №8. С. 71 – 74.
 2. Молев М.Д., Занина И.А., Стуженко Н.И. Синтез прогнозной информации в практике оценки эколого-экономического развития региона // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1993.
 3. Страданченко С.Г., Плешко М.С., Армейсков В.Н. О необходимости проведения комплексного мониторинга подземных объектов на различных стадиях жизненного цикла // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1994.
 4. Reuther E.U. Lehrbuch der Bergbaukunde. Essen: Verlag Glückauf GmbH, 1989. 812 S.
 5. Pleshko M.S., Stradanchenko S.G., Maslennikov S.A., Pashkova O.V. Study of technical solutions to strengthen the lining of the barrel in the zone of influence of construction near-wellbore production // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2015. №1. pp. 14-19 0.
 6. Плешко М.С. Крепь глубоких вертикальных стволов. Перспективы совершенствования // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. №4. С. 159 - 165.
 7. Страданченко С.Г., Плешко М.С., Армейсков В.Н. Разработка эффективных составов фибробетона для подземного строительства // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1995.
 8. Плешко, М.С., Крошнев, Д.В. Влияние свойств твердеющего бетона на взаимодействие системы «крепь – массив» в призабойной зоне ствола // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. №9. С. 320-325.
-

9. Дмитриенко В.А., Бауэр М.А. Выбор эффективных параметров крепления с использованием высокопрочных композиционных материалов для строительства подземных сооружений в сложных горно-геологических условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. №11. С. 279-286.

10. Булычёв Н. С. Механика подземных сооружений. М: Недра, 1994. 382 с.

References

1. Shvecov G.I. Gornyj zhurnal. 2007. №8. pp. 71 – 74.
2. Molev M.D., Zanina I.A., Stuzhenko N.I. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1993.
3. Stradanchenko S.G., Pleshko M.S., Armejskov V.N. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1994.
4. Reuther E.U. Lehrbuch der Bergbaukunde. Essen: Verlag Glückauf GmbH, 1989. 812 p.
5. Pleshko M.S., Stradanchenko S.G., Maslennikov S.A., Pashkova O.V. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2015. №1. pp. 14-19 0.
6. Pleshko M.S. Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten. 2010. №4. pp. 159 - 165.
7. Stradanchenko S.G., Pleshko M.S., Armejskov V.N. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1995.
8. Pleshko M.S., Kroshnev D.V. Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten. 2008. №9. pp. 320-325.
9. Dmitrienko V.A., Baujer M.A. Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten. 2008. №11. pp. 279-286.
10. Bulychjov N. S. Mehanika podzemnyh sooruzhenij [Mechanics of underground structures]. M: Nedra, 1994. 382 p.