

ГИДРОИЗОЛЯЦИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ЧУГУННО-БЕТОННОЙ КРЕПИ

Е.В. Колонтаевский¹, А.А. Мишедченко¹, А.В. Кузина²

¹ Московский проектный институт горных предприятий (МПИГП) ООО «ГСК-Шахтпроект»,
Москва, Россия, e-mail: mished@bk.ru

² Московский политехнический университет, Москва, Россия

Аннотация: Согласно геологическим данным новых калийных месторождений России на глубинах более 150—300 м располагаются напорные водоносные горизонты с присутствием трудно-замораживаемых рассолов. Общепринято проходку стволов в сложных гидрогеологических условиях выполнять под защитой ледопородного ограждения с возведением комбинированной чугунно-бетонной крепи. Данная крепь состоит из тюбингов, скрепленных между собой болтовыми соединениями, а между фланцами тюбингов устанавливаются вертикальные и горизонтальные свинцовые прокладки. Водонепроницаемость крепи достигается путем тампонажа закрепного пространства и чеканкой свинцовых прокладок в соединительных швах тюбинговых колец. В статье не рассматриваются вопросы, связанные с консолидацией крепи, а обращено внимание только на эффективность применения свинцовых прокладок в качестве гидроизоляции тюбинговой крепи. В этом направлении работали такие известные ученые, как Ю.П. Ольховиков, А.Н. Андреичев, В.А. Федюкин и другие. Опираясь на их исследования и собственный производственный опыт, ООО «ГСК-Шахтпроект» предлагает применить альтернативный способ гидроизоляции шахтной тюбинговой крепи путем замены свинцовых прокладок на профили из этилен-пропилен-диен мономера (EPDM), широко применяемого для гидроизоляции железобетонных блоков при строительстве железнодорожных, автодорожных тоннелей и метрополитенов. На основе проведенных расчетов и лабораторных исследований подтверждается возможность использования профилей EPDM в качестве гидроизоляции чугунной тюбинговой крепи.

Ключевые слова: гидроизоляция крепи, чеканка, свинцовые прокладки, проходка стволов, чугунные тюбинги, железобетонные блоки, гидроизоляционные профили, этилен-пропилен-диен мономер, EPDM, этиленпропиленовый каучук, тоннели, вертикальный ствол, водопритоки, аварийные ситуации на шахтах, затопление стволов и горных выработок, деформация крепи, рассолы, агрессивная среда, замораживание, мастики, смолы, тампонаж, слепые стволы, углубка.

Для цитирования: Колонтаевский Е. В., Мишедченко А. А., Кузина А. В. Гидроизоляция комбинированной чугунно-бетонной крепи // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 10. – С. 14–28. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_10_0_14.

Impervious seal of mixed-type cast-and-concrete lining

E.V. Kolontayevskiy¹, A.A. Mishedchenko¹, A.V. Kuzina²

¹ Moscow Mining Design Institute (MPIGP) LLC «MCC-Shaftproject», Moscow, Russia,
e-mail: mished@bk.ru

² Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

Abstract: According to geological data on new potassium deposits in Russia, at the depths greater than 150–300 m, artesian aquifers and difficult-to-freeze brines occur. Shafting in such complicated hydrogeological conditions is commonly carried out under protection of frozen wall and mixed-type cast-and-concrete lining. The lining is composed of bolt-jointed tubes with horizontal lead gasket seals set between the tubing flanges. Water-proofing of the lining is ensured by grouting of the rock–lining space and by packing of the lead gaskets in the tubing joints. This study leaves aside the issues connected with consolidation of the lining and only pays attention to the efficiency of lead gaskets used as the impervious seal of the tubing lining. This problem was addressed by such famous scientists as Yu.P. Olkhovikov, A.N. Andreichev, V.A. Fedyukin and others. Based on the implemented research and the unique industrial know-how, GSK-Shakhtproekt LLC proposes an alternative approach to water-proofing of tubing lining in mine shafts by replacing lead gaskets by profiles made of ethylene propylene diene monomer (EPDM) rubber widely used in sealing of reinforced concrete blocks in construction of railway and highway tunnels and subways. The calculations and lab-scale studies prove applicability of EPDM rubber profiles as impervious seal for mixed-type cast-and-concrete tubing lining.

Key words: impervious seal of lining, packing, lead gaskets, shafting, cast tubing, reinforced concrete blocks, water-proofing profiles, ethylene propylene diene monomer, EPDM, ethylene propylene rubber, tunnels, vertical shafts, water inflows, mine accidents, flooding of shafts and underground excavations, lining deformation, brines, hostile environment, freezing, paste, resin, grouting, blind shafts, drilling deeper.

For citation: Kolontayevskiy E. V., Mishedchenko A. A., Kuzina A. V. Impervious seal of mixed-type cast-and-concrete lining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(10):14-28. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_10_0_14.

Введение

В настоящее время в России ведется развитие и разработка новых месторождений, ранее считавшихся не перспективными из-за наличия множества водоносных горизонтов, глубиной заложения более 700 м. Также многие горные предприятия, открытые в XX в., заканчивают освоение близлежащих пластов полезных ископаемых и приступают к углубке слепыми стволами либо строительству новых.

Проходка стволов в осадочной обводненной толще осложнена низкими прочностными характеристиками этих пород, что ведет к применению специального способа — искусственному замораживанию грунтов [1], а крепь возводят из чугунных тубингов. Общеизвестно, что чугун является одним из наиболее кор-

розионностойким [2] материалом в условиях агрессивной среды.

Проведенный анализ состояния проблем и перспектив строительства новых шахтных стволов, расположенных в осложненных горно-геологических условиях, свидетельствует о том, что применение классической гидроизоляции крепи — свинцовых прокладок — во множестве случаев не позволяет выполнить установленные требования пункта 6.10 СП 69.13330.2016 «Общий приток воды в законченный строительством ствол глубиной до 800 м не должен превышать 5 м³/ч; допускается увеличение этого притока из расчета 0,5 м³/ч на каждые последующие 100 м ствола. Остаточный приток воды в пройденный ствол калийной или соляной шахте не должен превышать 0,15 м³/ч. При этом



Рис. 1. Вертикальные свинцовые прокладки
Fig. 1. Vertical lead gaskets

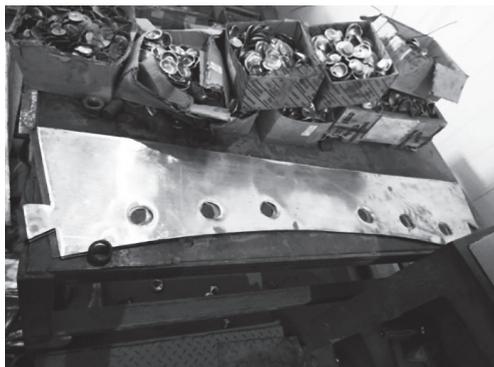


Рис. 2. Горизонтальные свинцовые прокладки
Fig. 2. Horizontal lead gaskets

не должно быть фильтрации воды через крепь ствола ниже кейлькранцев».

Водопритоки, [3] которые могут возникнуть в результате некачественной гидроизоляции, достигают порой значительных размеров. Так, на стволе № 3 Первого Солигорского калийного рудника наблюдалось интенсивное поступление воды в ствол. Из общего водопритока 130 м³/сут до 40–50% поступало через соединительные швы. Проходку

стволов пришлось остановить. В Польше был затоплен ствол «Сольно-П» в Иновроцлаве, где общий приток через не зачеканенные швы тубинговой крепи достигал 600 м³/ч. Имеются и другие многочисленные примеры.

Гидроизоляция чугунно-бетонной крепи

В шахтных стволах есть два варианта гидроизоляции вертикальных и горизонтальных швов тубинговой крепи:

- свинцовые прокладки (пластины) (рис. 1, 2) или свинцовая проволока;
- различные мастики.

Вариант с применением свинцовых прокладок или свинцовой проволоки

Уплотнение соединительных швов тубингов листовым свинцом 2–2,5 мм было предложено Ю. Риммером в 1883 г. при проходке ствола «Кениг Людвиг-1» в Нижнерейнско-Вестфальском каменноугольном районе.

Данный вид гидроизоляции является наиболее распространенным в настоящее время.

Чеканка швов тубинговой крепи (рис. 3) выполняется путем расплющивания рубильным молотком выступающей в ствол свинцовой прокладки на глубину, примерно 8–10 мм (рис. 4).



Рис. 3. Чеканка швов тубинговой крепи
Fig. 3. Tubing lining joint packing

Из практики известно, что данный способ не обеспечивает надежной гидроизоляции, особенно в стволах с переменным температурным режимом, так как не компенсируются возможные зазоры (раскрытие стыков) между тубингами, вследствие чего возможно проведение повторных работ по чеканке во время эксплуатации крепи ствола, что требует изменения режима работы действующего ствола.

Также при проходке шахтных стволов (особенно механизированным способом) [4] установка и чеканка свинцовых прокладок замедляет темпы самой проходки стволов, что сказывается на общем времени строительства.

Вариант с применением различных мастик

Данный вид гидроизоляции используется при условии применения эластичного материала, способного компенсировать возможные зазоры (раскрытие стыков) между тубингами.

Основными недостатками являются:

- невозможность ремонтных работ;
- необходимость высокой квалификации персонала;
- малораспространенность технологии;
- существование негативного опыта применения в связи с использованием неэластичного материала;
- необходимость тщательной очистки и сохранения в чистоте вплоть до монтажа фланцев тубингов для обеспечения адгезии;
- необходимость выполнения работ в сроки, ограниченные временем полимеризации материала;
- необходимость соблюдения толщины и контроля нанесения мастики для обеспечения проектных горизонтальных зазоров;
- малоэффективность при отрицательных температурах и агрессивной среде.



Рис. 4. Запрессованный свинец в стыке фланцев тубингов

Fig. 4. Packed lead at tubing flange joint

Анализ причин разгерметизации стыков фланцевого соединения

В шахтных стволах, проходимых способом замораживания, тубинги подвергаются многократному температурному воздействию: монтаж их в тубинговую колонну в замороженных породах с последующим заполнением горячим бетоном закрепного пространства; промерзание тубингов при пассивном режиме замораживания; оттаивание замороженных пород; влияние сезонных колебаний температур при их последующей эксплуатации.

Результатами температурных изменений являются:

- расширение тубинговой колонны и ослабление болтовых отверстий;
- образование трещин в тубингах [5], а в более тяжелых случаях — их разрушение;
- отрыв сегментов тубингов от прилегающей к ним бетонной оболочки.

Гидроизоляция тубинговой крепи (тампажные работы и чеканка швов) начинается во время размораживания ледопородного ограждения (далее ЛПО) т.е. при достижении положительной температуры пород по всей глубине ствола от крепи не менее 0,5 до 1 м.

Оттаивание пород начинается с нижней части шахтного ствола [6], то есть в

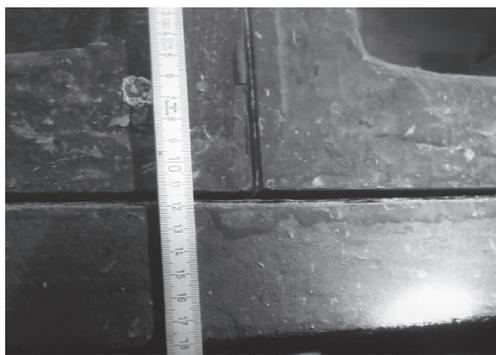


Рис. 5. Зазор между горизонтальными фланцами тубингов

Fig. 5. Gap between horizontal flanges of tubes

этот момент возникают растягивающие усилия, способствующие расхождению горизонтальных стыков фланцевого соединения тубингов вплоть до 10 мм (пример показан на рис. 5).

При появлении зазоров между тубингами свинцовая прокладка уже не может служить гидроизоляцией крепи вследствие отсутствия упругих качеств у свинца, что ведет к просачиванию воды через стыки между сегментами тубингов, а также через болтовые соединения.

Поэтому по мере оттаивания крепи иногда необходимо дополнительно уплотнять швы свинцовыми полосками («лапшой»), производить подтяжку болтов и вновь выполнять чеканочные работы.

Гидроизоляция болтовых соединений

Каждый шахтный тубинг имеет 24 болтовых соединения, предназначенных для скрепления отдельных сегментов в кольцо, а последнего в тубинговую колонну. Само болтовое соединение также является местом просачивания воды в ствол и способно пропускать до 35% общего водопритока при изменении условия работы крепи (изменение нагрузок, колебания температуры и др.).

В решении задачи по гидроизоляции тубинговой крепи Ю. Ример предложил выполнять гидроизоляцию болтовых соединений путем применения асбобитумных и конических свинцовых шайб. При обжатии свинцовой гидроизоляционной шайбы между стальной обжимной шайбой и поверхностью тубинга должен был образовываться валик свинца высотой 4–5 мм. В случае, если такой валик не образовался, и стальная шайба входила в соприкосновение с тубингом, рекомендовалось либо увеличить размер свинцовой шайбы, либо добавить по половине свинцовой шайбы на каждую сторону болтового соединения.

Экспериментально было установлено, что при первоначальном натяжении болта, например, равном 50 кН, разгрузка до 25 кН происходит за 30 мин, а полная разгрузка до 15 кН за 7–8 сут. Всякое временное увеличение натяжения болтов вследствие отсутствия у гидроизоляционной шайбы упругого восстановления ее формы и размеров приводит к ослаблению болтового соединения и появлению течи.

Решение заменить гидроизоляционные шайбы на полиэтиленовые было принято только в 1964–65 гг. Трестом «Шахтспецстрой» при проходке ствола № 2 Третьего Березниковского и ствола «Новый» Стебниковского калийных рудников. Исследованиями было доказано, что полиэтиленовая шайба разгружается за первые 30 мин до 75–78% первоначальной нагрузки, полная разгрузка происходила за 37–40 сут при остаточном натяжении болтового соединения, равного 30 кН. С момента проходки и крепления шахтных стволов Четвертого Солигорского рудника (1973–74 гг.) полиэтиленовые шайбы стали применяться повсеместно (рис. 6).

К сожалению, полиэтиленовые шайбы порой не справляются с гидроизо-

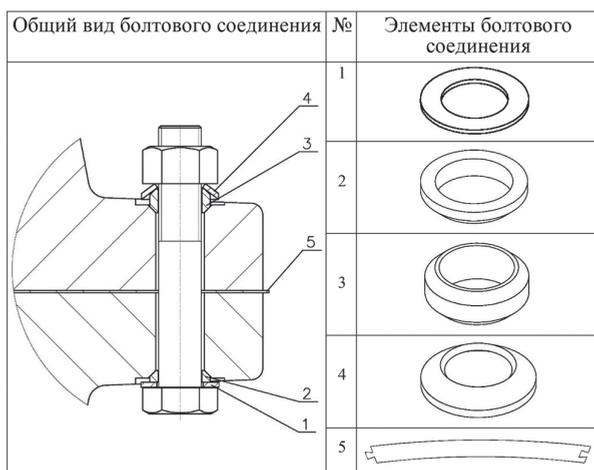


Рис. 6. Герметизация болтовых соединений тубинговой крепи до затяжки: 1 — стальная шайба; 2 — полиэтиленовая одноконическая шайба; 3 — полиэтиленовая двуконическая шайба; 4 — металлическая коническая шайба; 5 — свинцовая прокладка

Fig. 6. Sealing of bolt joints of tubing lining before bolt tightening; 1 — steel washer; 2 — polyethylene one-cone washer; 3 — polyethylene two-cone washer; 4 — metal cone washer; 5 — lead gasket

ляцией болтового соединения по той причине, что свинцовая прокладка препятствует воде лишь в зоне выполненной чеканки [7], не превышающей 25 — 30 мм от внутреннего края тубинга, а болтовые отверстия неизбежно оказываются в воде, поступившей в зазор между фланцами тубингов.

Расчет уплотнения свинцовой прокладки

Рассмотрим усилия уплотнения [8] для самого узкого тубинга с толщиной спинки 20 мм. Ширина борта горизонтального может быть сделана минимальной — 210 мм. Для кольца в свету 7 м площадь всей круговой свинцовой прокладки:

$$F = \pi(r_n^2 - r_{вн}^2) = 3,141592(371^2 - 350^2) = 47\,566 \text{ см}^2.$$

В многоболтовом соединении предельное (расчетное) усилие на растяжение одного болта (класс прочности 4.6):

Болт М30 $N = 12\,850$ кг;

Болт М36 $N = 18\,770$ кг;

Болт М42 $N = 25\,710$ кг.

Усилие сжатия в прокладке

Болт М30

$$\sigma = \frac{N}{F} = \frac{12\,850 \times 6 \times 13}{47\,566} = 21,07 \text{ кг/см}^2;$$

Болт М36

$$\sigma = \frac{N}{F} = \frac{18\,770 \times 6 \times 13}{47\,566} = 30,77 \text{ кг/см}^2;$$

Болт М42

$$\sigma = \frac{N}{F} = \frac{25\,710 \times 6 \times 13}{47\,566} = 42,15 \text{ кг/см}^2.$$

Как видно, ни один болт не создает необходимого уплотнения свинцовой прокладки. Отсюда следует, что чрезмерным стягиванием болтов, к чему нередко стремятся при сборке тубингов, абсолютно невозможно достичь сжатия свинцовой прокладки. Гидроизоляция швов достигается только за счет запрессовки свинца ударами рубильного молотка в стыке фланцев, когда свинец испытывает пластические напряжения сжатия выше 170 менее 900 кг/см². После удара нагрузка снимается, но свинец запрессован между двумя неподвижны-

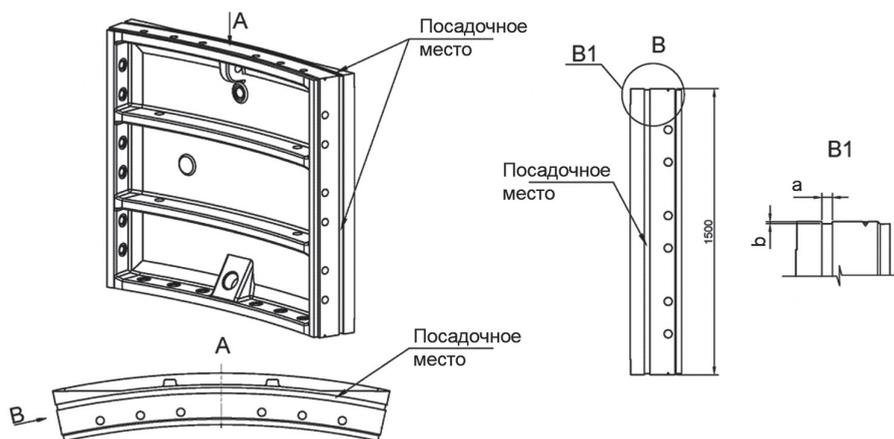


Рис. 7. Тьюбинг с посадочным местом для гидроизоляционного профиля и желобком для чеканки проволокой

Fig. 7. Tubing with water-proofing seal housing and wire-packing groove

ми поверхностями бортов и находится в упругом сжатии с тем же напряжением. Вот только при этом свинцовая прокладка и свинцовая проволока в желобке держат давление воды.

Применение уплотнителей из этилен-пропилен-диен мономера для гидроизоляции швов между сегментами тьюбинговой крепи

В настоящее время [9] повсеместно в практике для гидроизоляции железобетонных блоков применяют профили из этилен-пропилен-диен мономера (далее EPDM). При монтаже сегментов в кольцо профили прессуются друг против друга, тем самым образуя водонепроницаемое соединение.

Сам материал EPDM обладает [10] высокой озоно-, кислородо-, терлостойкостью, стойкостью к агрессивным средам; великолепными низкотемпературными и диэлектрическими свойствами, что в первую очередь очень важно при проходке стволов со спец. способом — замораживание грунтов; высокими прочностными и эксплуатационными характеристиками.

В случае появления возможных зазоров между тьюбингами, как указывалось ранее, эластичные профили [11] упруго деформируются, при этом сохраняя гидроизоляционные свойства, вследствие чего не потребуются проведение повторных работ по гидроизоляции крепи как по завершению строительства ствола, так и во время эксплуатации.

Таким образом, тьюбинговая гидроизолирующая крепь вертикального шахтного ствола будет представлять из себя чугунный тьюбинг с выполненными расчетными проточками по контуру спинки (рис. 7) под посадочное место и установленным EPDM профилем (рис. 8 и 9).

Для дополнительной безопасности и «ремонтпригодности» предусмотрен желобок по внутреннему контуру тьюбинга, позволяющий выполнить чеканку свинцовой проволокой и расширяющимся цементом (рис. 9).

Рассмотрим необходимые усилия обжатия двух профилей EPDM фланцами тьюбингов с помощью болтов М36.

Давление уплотнения [12, 13] не должно быть меньше минимального значения предварительного обжатия, рав-

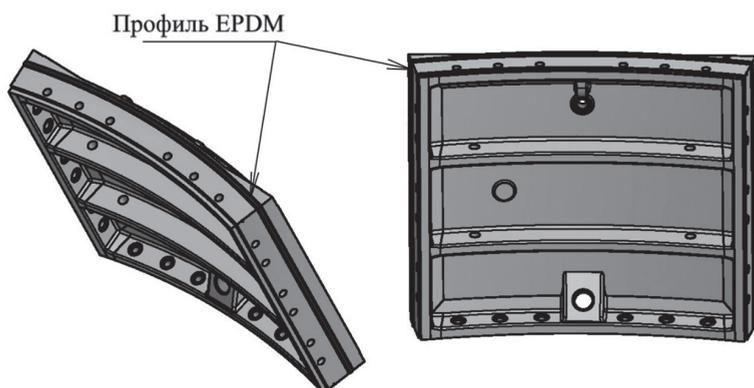


Рис. 8. Тюбинг с профилем EPDM
Fig. 8. Tubing with EPDM rubber profile

ного 25 кг/см², при котором еще не нарушается герметичность.

Площадь всего гидроизоляционного профиля для кольца в свету 7 м и шириной борта 24 см:

$$F = \pi(r_{\text{н}}^2 - r_{\text{вн}}^2) = 3,141592(372^2 - 369^2) = 6984 \text{ см}^2.$$

Усилие сжатия профиля:

$$\sigma = \frac{N}{F} = \frac{18\,770 \times 6 \times 13}{6984} = 210 \text{ кг/см}^2 > 25 \text{ кг/см}^2.$$

Таким образом, только за счет обжатия профиля EPDM фланцами тюбингов болтами М36 будет обеспечено

водонепроницаемое соединение, которое способно упруго деформироваться, в отличие от ранее применяемых материалов. Такое уплотнение включается в работу сразу с момента замыкания и не требует дополнительных трудозатрат после монтажа крепи.

Лабораторные испытания

ООО «ГСК-Шахтпроект» совместно с заводом-изготовителем профилей из этилен-пропилен-диен мономера разработали модельный ряд гидроизоляционных профилей (рис. 10) для шахтных тюбингов.

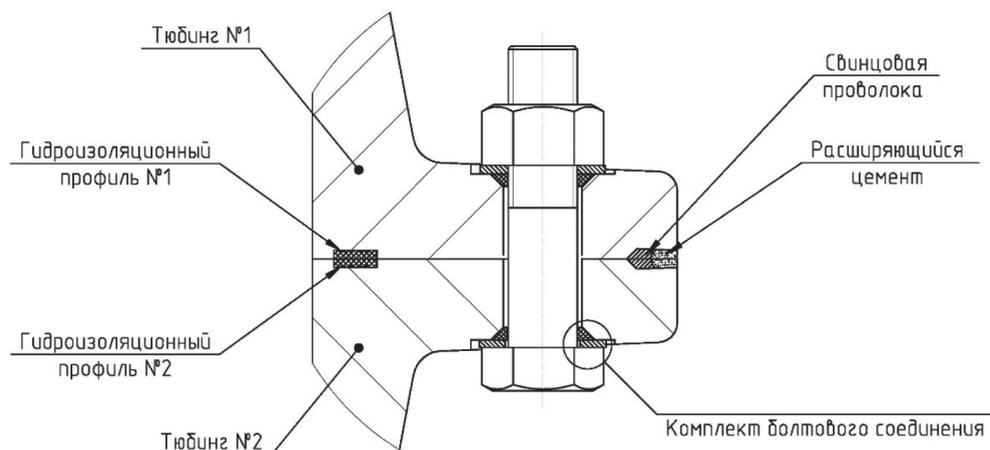


Рис. 9. Конструкция узла гидроизоляции фланцевого соединения тюбинговой крепи
Fig. 9. Layout of impervious seal assembly for flange coupling of tubing lining

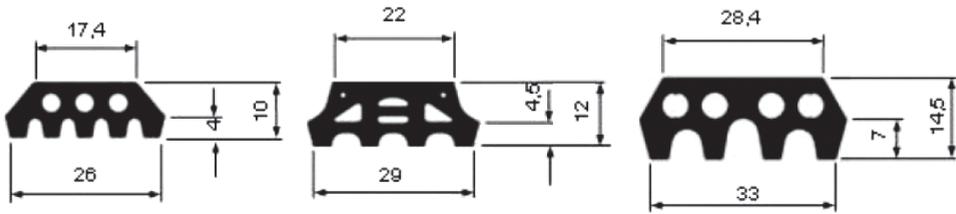


Рис. 10. Модельный ряд гидроизоляционных профилей
 Fig. 10. Model series of water-proofing profiles

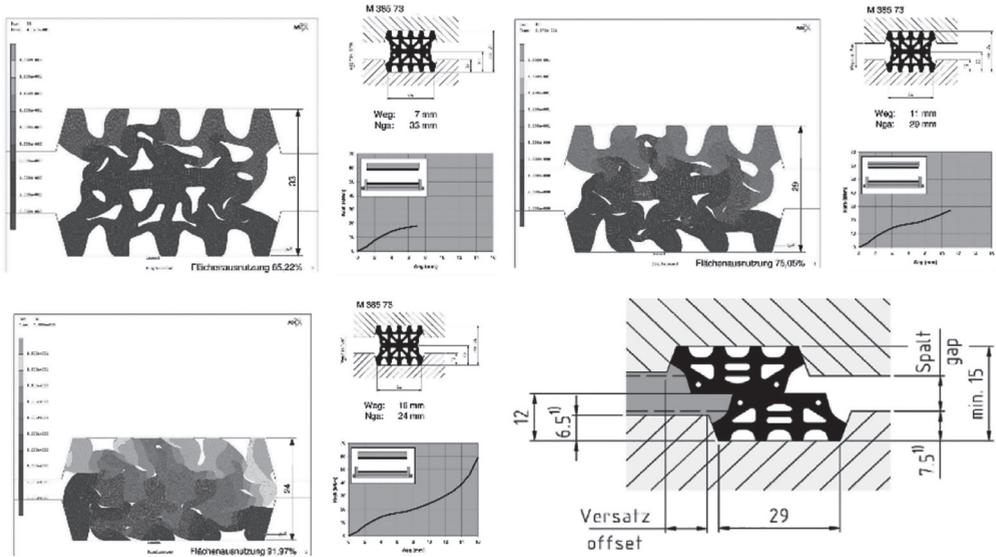


Рис. 11. Моделирование деформации профиля EPDM при повышении гидростатического давления и смещениях профилей
 Fig. 11. Modeling EPDM rubber profile deformation under higher hydrostatic pressures and displacements

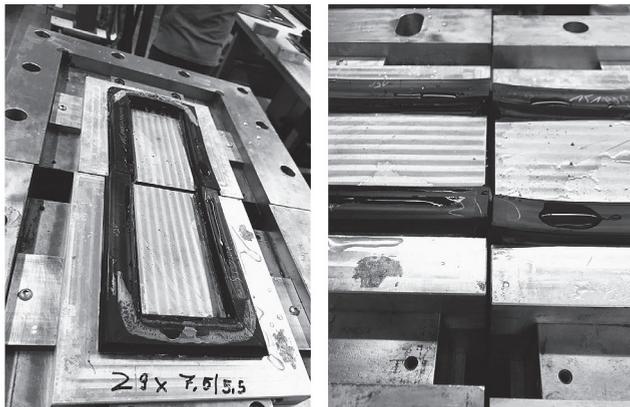


Рис. 12. Профили EPDM, установленные со смещением в 5 мм
 Fig. 12. EPDM rubber profiles installed at bias of 5 mm

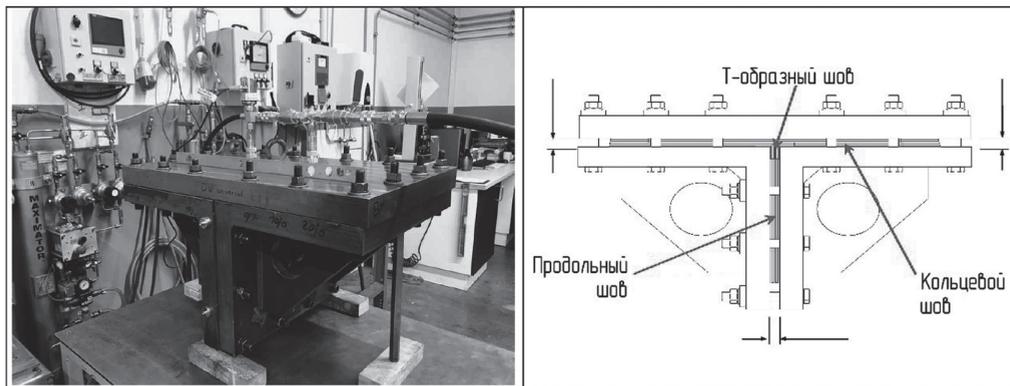


Рис. 13. Стенд для испытаний на герметичность
Fig. 13. Sealing testing machine

Для создания надежной гидроизоляции тьюбинговой крепи необходимо было выполнить моделирование (рис. 11) процесса деформирования двух смежных гидроизоляционных профилей при сжатии, тем самым имитируя монтаж тьюбингов при возведении крепи. Особое внимание было сосредоточено на варианте с неплотным [14, 15] контактом двух профилей, а также смещением их относительно друг друга, при котором не должно было появиться течи воды (рис. 12).

Для подтверждения расчетных данных и результатов моделирования в декабре 2019 г. были проведены стендовые испытания (на рис. 13) выбран-

ного гидроизоляционного профиля на гидростатическое давление в 6 МПа (что соответствует глубине 600 м). Для усложнения испытаний были дополнительно смещены профили относительно друг друга на 5 мм (рис. 12) и неплотном сжатии плит стенда, равным 1 мм (рис. 13, 14).

Во время испытаний лабораторный стенд был подключен к гидросистеме, позволяющий последовательно повышать давление по (0,3–0,5 МПа) с выдержкой на каждой ступени. На рис. 14 приведены фотографии выполнения лабораторных испытаний на давление воды в 6,5 МПа. Как видно, течи и выдавливания профиля из канавки не произошло.

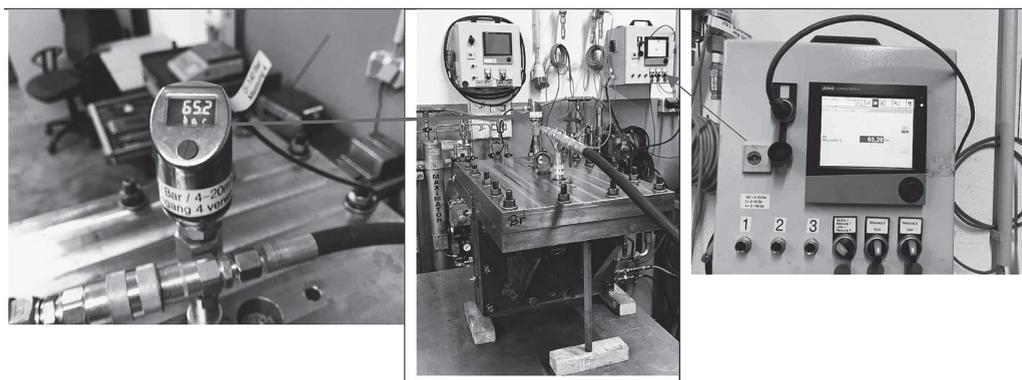


Рис. 14. Стенд для испытаний профилей EPDM
Fig. 14. EPDM rubber profile testing machine

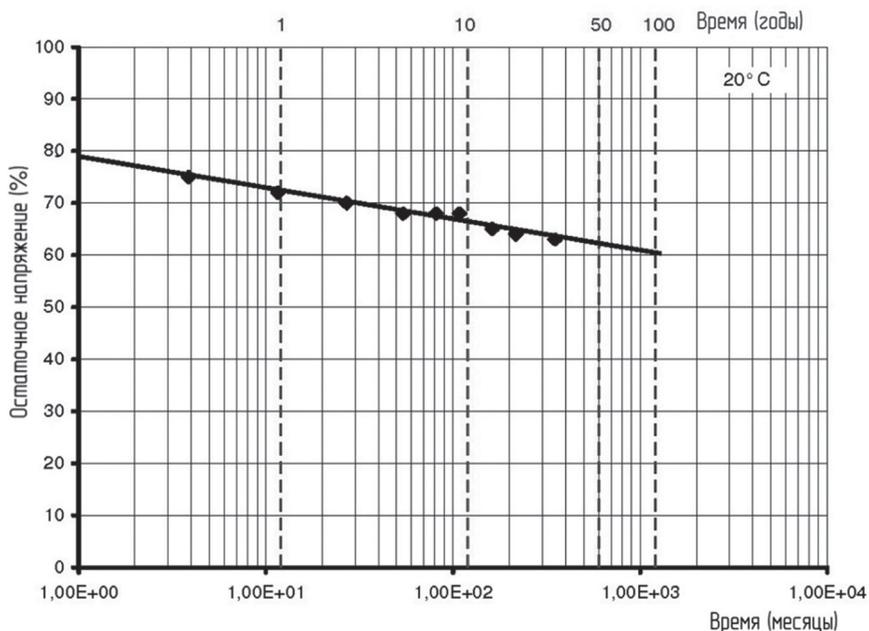


Рис. 15. График искусственного старения EPDM
 Fig. 15. Artificial ageing plot for EPDM



Рис. 16. Замораживание профиля EPDM
 Fig. 16. Freezing of EPDM rubber profile

Испытания профилей выполнялись в течение 72 ч, после [14, 15] чего у стенда снимались фиксирующие плиты, профили удалялись и хранились в незагруженном состоянии в течение 1 ч для определения величины восстанавливаемости профиля в исходное состояние.

Восстановительная способность рассчитывалась следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{Вос-ная способность [\%]} &= \\ &= (\text{высота профиля после вос-ния} / \\ & / \text{высота профиля перед нагрузкой}) \times \\ & \times 100\% = (11,5/12) \times 100\% = 95,8\%. \end{aligned}$$

Также одним из немаловажных результатов исследований было заключение химлаборатории о проведенных [16] исследованиях на старение (рис. 15) этилен-пропилен-диен мономера и поведение профиля при эксплуатации в агрессивной среде, т.е. с растворами химического состава г/л:

- NaCl – 302; KCl – 11; MgSO₄ – 5; MgCl₂ – 3.

- NaCl – 100–160; KCl – 29–180; MgCl₂ – 80–115; CaSO₄ – 0,32–0,55; CaCl₂ – 78–120.
- MgCl₂ – 234; KCl – 40; CaSO₄ – 3,5; CaCl₂ – 1,8.

Как видно из графика, профили EPDM сохраняют свои физико-механические свойства в течение 100 лет (см. рис. 15), а также не теряют стойкость в агрессивной среде, что крайне важно для калийных месторождений.

Для подтверждения окончательной готовности профилей из этилен-пропилен-диен мономера для шахтного строительства необходимы были лабораторные испытания на морозостойкость материала. Процесс замораживания образцов выполнялся в морозильной камере при температуре –20 °С (рис. 16). Профили EPDM при замораживании-оттаивании [17] не должны были потерять свои физико-механические свойства.

Результаты лабораторных и стендовых испытаний подтвердили расчеты ООО «ГСК-Шахтпроект» о применимости профилей EPDM в качестве гидроизоляции тубинговой крепи для вертикальных шахтных стволов.

Предложенная конструкция гидроизоляции тубинговой крепи технологически более применима при механизированном способе [18–20] проходки шахтных стволов, позволяет сократить время монтажа и гидроизоляции тубинговой крепи [21, 22]. Это, в свою очередь, повышает темпы проходки.

Экономика

Для примера экономического эффекта использования тубингов с профилями EPDM был выполнен расчет по шахтному стволу глубиной 740 м, диаметром 8 м.

Только за счет замены свинцовых прокладок на профили EPDM произошло:

- экономия по материалу на 19,3 млн руб.;
- сокращение сроков возведения крепи – на 34%;
- уменьшение эксплуатации машин и механизмов (затраты на пневмоинструмент) – на 11%.

Заключение

В заключении хотелось отметить, что предлагаемая конструкция узла гидроизоляции фланцевого соединения тубинговой крепи обеспечит:

- надежность гидроизоляции тубинговой крепи на весь период эксплуатации шахтных стволов;
- увеличение темпов проходки ствола за счет герметизации крепи при ее монтаже, а выполнение чеканочных работ выполняется при необходимости в период армировки ствола;
- уменьшение сроков эксплуатации замораживающих установок в пассивном режиме и в период искусственного оттаивания горных пород;
- экономичность по трудозатратам, а также в использовании всего комплекса проходческого оборудования при строительстве стволов;
- повышение эксплуатационной ремонтпригодности крепи.

По данной разработке ООО «ГСК-Шахтпроект» получило патент № 188956, заняло 1 место в номинации «Инновационная идея» в открытом конкурсе инноваций-2020 АК «АЛРОСА» ПАО, награждено бронзовой медалью на XXIII Московском международном салоне изобретений и инновационных технологий.

В 2021–2022 гг. ООО «ГСК-Шахтпроект» планирует разработать новый модельный ряд профилей EPDM, а также провести стендовые испытания на давление воды в 10–12 МПа (глубина более 1200 м).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головатый И. И., Левин Л. Ю., Паршаков О. С., Диулин Д. А. Оптимизация процессов формирования ледопородного ограждения при сооружении шахтных стволов // Горный журнал. — 2018. — № 8. — С. 48 — 53.
2. Каплан Л. Б. Чугунные тьюбинги и рамные блоки для шахтных стволов. — Л.: Углетехиздат, 1952. — С. 22 — 26.
3. Ольховиков Ю. П. Крепь капитальных выработок калийных и соляных рудников. — М.: Недра, 1984. — 238 с.
4. Антипов В. В., Аверин Е. А., Антипов Ю. В. Решения для механизированной проходки шахтных стволов от СОЭЗ // Добывающая промышленность. — 2019. — № 4. — С. 110 — 111.
5. Тарасов В. В., Пестрикова В. С., Иванов О. В. Способ ликвидации прорыва воды через тьюбинговую крепь при замене дефектных тьюбингов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 11. — С. 53 — 58. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-11-0-53-58.
6. Кузина А. В., Крынкина В. Н., Мишедченко А. А. Прогнозирование состояния ледопородного ограждения вертикального шахтного ствола при искусственном оттаивании // Устойчивое развитие горных территорий. — 2021. — № 1. — С. 125 — 133.
7. Федюкин В. А. Проходка стволов шахт способом замораживания. — М.: Недра, 1968. — С. 242 — 243.
8. Мишедченко А. А. Тьюбинговая гидроизолирующая крепь вертикального шахтного ствола с EPDM-профилем // Вестник «АЛРОСА». — 2021. — № 1(278). — С. 2.
9. Хохлов И. Н., Соломатин Ю. Е. Сборная водонепроницаемая обделка из высокоточных блоков для двухпутных тоннелей московского метрополитена // Метро и тоннели. — 2016. — № 2. — С. 18 — 23.
10. *Recommendation for gasket frames in segmental tunnel linings.* Leucker R., Kessler D., Klapproth C. (Eds.). STUVA 54, Köln, 2019, p. 32.
11. Смирнов Д. С., Рахимов Р. З., Габидуллин М. Г., Каюмов Р. А., Стоянов О. В. Испытания и прогнозная оценка долговечности уплотнительной резины герметизирующих стыков блоков обделки метро // Вестник Казанского технологического университета. — 2014. — Т. 17. — № 15. — С. 141 — 146.
12. Мишедченко А. А. Возвращаясь к опыту советских шахтостроителей // Маркшейдерия и недропользование. — 2017. — № 6. — С. 15 — 16.
13. Андричев А. Н. Тьюбинговое крепление вертикальных шахт. — М.: Углетехиздат, 1950. — 204 с.
14. *Recommendation for gasket frames in segmental tunnel linings.* Leucker R., Kessler D., Klapproth C. (Eds.). STUVA 54, Köln, 2019, pp. 1 — 40.
15. Xue L., Shunhua Z., Honggui D., Peixin W. Evaluation and experimental study on the sealant behaviour of double gaskets for shield tunnel lining // Tunnelling and Underground Space Technology. 2018, vol. 75, pp. 81 — 89.
16. Chenjie G., Wenqi D., Kenichi S., Khalid M., Yongfei T. Sealant behavior of gasketed segmental joints in shield tunnels: An experimental and numerical study // Tunnelling and Underground Space Technology. 2018, vol. 77, pp. 127 — 141.
17. Галкин А. Ф., Курта И. В. Влияние температуры на глубину оттаивания мерзлых пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 2. — С. 82 — 91. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-82-91.
18. Валиев А. Г., Власов С. Н., Самойлов В. П. Современные щитовые машины с активным пригрузом забоя для проходки тоннелей в сложных инженерно-геологических условиях. — М.: ТА Инжиниринг, 2003. — 47 с.
19. Пшеничный Ю. А., Кечеджан А. К. Комбайновый способ проходки вертикальных стволов на современном этапе // Проблемы горного давления. — 2018. — № 1-2. — С. 35 — 45.

20. Фомичев А. Д. Технологии механизированного строительства главных вертикальных стволов на примере современных современных стволопроходческих агрегатов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2014. – № 1. – С. 172 – 179.

21. Shalabi F. I., Cording E. J., Paul S. L. Concrete segment tunnel lining sealant performance under earthquake loading // *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2012, vol. 31, pp. 51 – 60.

22. Wenqi D., Chenjie G., Khalid M., Kenichi S. Development and application of the integrated sealant test apparatus for sealing gaskets in tunnel segmental joints // *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2017, vol. 63, pp. 54 – 68. **PLoS**

REFERENCES

1. Golovatiy I. I., Levin L. Yu., Parshakov O. S., Diulin D. A. Optimizing ice wall formation processes during shaft construction. *Gornyi Zhurnal*. 2018, no. 8, pp. 48 – 53. [In Russ].

2. Kaplan L. B. *Chugunnye tyubingi i ramnye bloki dlya shakhtnykh stvolov* [Cast iron tubings and frame blocks for shafts], Leningrad, Ugletekhizdat, 1952, pp. 22 – 26.

3. Olkhovikov Yu. P. *Krep' kapital'nykh vyrabotok kaliynykh i solyanykh rudnikov* [The lining of permanent potash and salt mine openings], Moscow, Nedra, 1984, 238 p.

4. Antipov V. V., Antipov E. A., Averin Yu. V. Solutions for mechanized shaft sinking by SOEZ. *Mining Industry*. 2019, no. 4, pp. 110 – 111. [In Russ].

5. Tarasov V. V., Pestrikova V. S., Ivanov O. V. Method to eliminate water inrush through tubing support during damaged tubing replacement. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*. 2017, no. 11, pp. 53 – 58. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-11-0-53-58.

6. Kuzina A. V., Krynkin V. N., Mishedchenko A. A. Prediction of the state of ice wall in a vertical mine shaft during artificial thawing. *Ustoychivoe razvitie gornykh territoriy*. 2021, no. 1, pp. 125 – 133. [In Russ].

7. Fedyukin V. A. *Prokhodka stvolov shakht sposobom zamorazhivaniya* [Shaft sinking with the use of the freezing method], Moscow, Nedra, 1968, pp. 242 – 243.

8. Waterproofing tubbing lining of a vertical mine shaft with the use of the EPDM profile. *Vestnik «ALROSA»*. 2021, no. 1(278), pp. 2. [In Russ].

9. Khokhlov I. N., Solomatin Yu. E. Prefabricated waterproof lining made of high-precision blocks for double-track tunnels of the Moscow subway. *Metro and tunnels*. 2016, no. 2, pp. 18 – 23. [In Russ].

10. *Recommendation for gasket frames in segmental tunnel linings*. Leucker R., Kessler D., Klapproth C. (Eds.). STUVA 54, Köln, 2019, p. 32.

11. Smirnov D. S., Rakhimov R. Z., Gabidullin M. G., Kayumov R. A., Stoyanov O. V. Tests and prognostic assessment of the durability of sealing rubber for sealing joints of subway lining blocks. *Bulletin of Kazan technological university*. 2014, vol. 17, no. 15, pp. 141 – 146. [In Russ].

12. Mishedchenko A. A. Returning to the experience of soviet mine builders. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2017, no. 6, pp. 15 – 16. [In Russ].

13. Andreichev A. N. *Tyubingovoe kreplenie vertikal'nykh shakht* [Tubbing linings of vertical shafts], Moscow, Ugletekhizdat, 1950, 204 p.

14. *Recommendation for gasket frames in segmental tunnel linings*. Leucker R., Kessler D., Klapproth C. (Eds.). STUVA 54, Köln, 2019, pp. 1 – 40.

15. Xue L., Shunhua Z., Honggui D., Peixin W. Evaluation and experimental study on the sealant behaviour of double gaskets for shield tunnel lining. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2018, vol. 75, pp. 81 – 89.

16. Chenjie G., Wenqi D., Kenichi S., Khalid M., Yongfei T. Sealant behavior of gasketed segmental joints in shield tunnels: An experimental and numerical study. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2018, vol. 77, pp. 127 – 141.

17. Galkin A. F., Kurta I. V. Effect of temperature on thaw depth in frozen rocks. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 2, pp. 82 – 91. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-82-91.

18. Valiev A. G., Vlasov S. N., Samoylov V. P. *Sovremennye shchitovye mashiny s aktivnym prigruzom zaboya dlya prokhodki tonneley v slozhnykh inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh* [Modern shield machines with active face loading for tunneling in severe engineering and geological conditions], Moscow, TA Inzhiniring, 2003, 47 p.

19. Pshenichniy Yu. A., Kechedjan A. K. Combined method of sinking vertical shafts at the present stage. *Problemy gornogo davleniya.* 2018, no. 1-2, pp. 35 – 45. [In Russ].

20. Fomichev A. D. Technologies of mechanized construction of the main vertical shafts based on the example of modern shaft sinking units. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta, Tekhnicheskie nauki.* 2014, no. 1, pp. 172 – 179. [In Russ].

21. Shalabi F. I., Cording E. J., Paul S. L. Concrete segment tunnel lining sealant performance under earthquake loading. *Tunnelling and Underground Space Technology.* 2012, vol. 31, pp. 51 – 60.

22. Wenqi D., Chenjie G., Khalid M., Kenichi S. Development and application of the integrated sealant test apparatus for sealing gaskets in tunnel segmental joints. *Tunnelling and Underground Space Technology.* 2017, vol. 63, pp. 54 – 68.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Колонтаевский Евгений Владимирович¹ – генеральный директор,
Мишедченко Анатолий Анатольевич¹ – главный специалист,
Кузина Александра Владимировна – старший преподаватель,
Московский политехнический университет,

¹ Московский проектный институт горных предприятий (МПИГП)
ООО «ГСК-Шахтпроект».

Для контактов: Мишедченко А.А., e-mail: mished@bk.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

E.V. Kolontayevskiy¹, General Director,
A.A. Mishedchenko¹, Chief Specialist,
A.V. Kuzina, Senior Lecturer,
Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia,

¹ Moscow Mining Design Institute (MPIGP)
LLC «MCC-Shaftproject», 125124, Moscow, Russia.

Corresponding author: A.A. Mishedchenko, e-mail: mished@bk.ru.

Получена редакцией 04.06.2021; получена после рецензии 06.08.2021; принята к печати 10.09.2021.

Received by the editors 04.06.2021; received after the review 06.08.2021; accepted for printing 10.09.2021.

