Оригинальная статья / Original Paper
https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5-113-118

Обоснование способа и оборудование для возведения гидроизоляционных перемычек в калийных рудниках

Д.И. Шишлянников[1], К.А. Просовский[2], И.Х. Тюбеев[1], Д.С. Грибов[2]✉
[1] *Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация*
[2] *АО «ВНИИ Галургии», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация*
✉ dmitriy.gribov@mail.ru

Резюме: Рассмотрены вопросы, связанные с защитой от затопления горных выработок соляных рудников. Отмечено, что соляной массив имеет слоистое строение, а выше продуктивной толщи зачастую залегают водонасыщенные породы. Между продуктивными пластами и водонасыщенными породами находится водозащитная толща, препятствующая попаданию воды в горные выработки. В большинстве случаев водоприток в горные выработки возникает из-за нарушения целостности водозащитной толщи, при котором вода через трещины попадает из водоносных горизонтов в выработанное пространство. Указано, что для ликвидации водопритоков в подземные горные выработки используют гидроизоляционные перемычки. Описан способ возведения гидроизоляционных перемычек в калийных рудниках, согласно которому сначала возводят временную перемычку, а затем постоянную, причем пространство между ними закладывают солеотходами. Показано, что процесс строительства гидроизоляционных перемычек характеризуется высокой трудоемкостью и значительными временными затратами ввиду отсутствия средств механизации для выполнения данных работ. Обоснована актуальность разработки средств механизации для строительства гидроизоляционных перемычек. Предложена конструкция мобильного породоразрушающего агрегата, позволяющего снизить трудоемкость работ по созданию ниш для возведения гидроизоляционных перемычек при перекрытии пройденных горных выработок.

Ключевые слова: гидроизоляционная перемычка, водозащитная толща, ликвидация водопритоков, горная выработка, породоразрушающий агрегат, ниша для возведения гидроизоляционной перемычки, соляной рудник, затопление горных выработок, поддерживающий целик

Благодарности: Исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект №FSNM-2023-0005).

Для цитирования: Шишлянников Д.И., Просовский К.А., Тюбеев И.Х., Грибов Д.С. Обоснование способа и оборудование для возведения гидроизоляционных перемычек в калийных рудниках. *Горная промышленность.* 2025;(5):113–118. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5-113-118

Justification of a method and equipment for construction of water-proof bulkheads in potash mines

D.I. Shishlyannikov[1], K.A. Prosovskiy[2], I.H. Tubeev[1], D.S. Gribov[2]✉
[1] *Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation*
[2] *VNII Galurgii JSC, Saint Petersburg, Russian Federation*
✉ dmitriy.gribov@mail.ru

Abstract: The paper discusses issues related to protection of mine workings in salt mines from flooding. It is noted that the salt rock mass has a layered structure, and water-saturated rocks are often found above the productive strata. The productive strata and the water-saturated rocks are separated by a water-protective stratum (WPS), which prevents water from entering the mine workings. In most cases, water inflow into the mine workings occurs due to disintegration of the water-protective stratum, which makes it possible for the water to get from the aquifers into the mined-out space through the cracks. It is indicated that water-proof bulkheads are used to eliminate water inflow into the underground mine workings. A method to create water-proof bulkheads in potash mines is described, according to which a temporary bulkhead is erected first, then a permanent one is built, and the space between them is backfilled with salt wastes. The process of a water-proof bulkhead construction is shown to be characterized by high labour intensity and considerable time required due to the lack of mechanization means to perform these works. The urgency of developing mechanization means for construction of water-proof bulkheads has been justified.

A design of a mobile rock-breaking machine is suggested, which allows to reduce labour intensity of the works to create niches for erection of the water-proof bulkheads at covering the driven mine workings.

Keywords: water-proof bulkhead, water-protective stratum, elimination of water inflow, mine workings, rock-breaking machine, niche for construction of water-proof bulkhead, salt mine, flooding of mine workings, support pillar

Acknowledgements: The research was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project No. FSNM-2023-0005).

For citation: Shishlyannikov D.I., Prosovskiy K.A., Tubeev I.H., Gribov D.S. Justification of a method and equipment for construction of water-proof bulkheads in potash mines. *Russian Mining Industry.* 2025;(5):113–118. (In Russ.) https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5-113-118

Введение

Согласно мировой статистике каждый третий соляной рудник является затопленным. Обусловлено это тем, что соляной массив имеет слоистое строение, а выше продуктивной толщи зачастую залегают водонасыщенные породы. Вода, фильтруясь через несплошности (геологические нарушения) в водозащитной толще (ВЗТ), попадает непосредственно в выработки, причем чем больше размер этих несплошностей, тем более интенсивным является водоприток [1–3]. В ряде случаев при нарушении целостности ВЗТ наблюдаются прорывы рассолов и пресных вод в горные выработки, которые приводят к серьезным аварийным ситуациям – затоплению горных выработок или рудника в целом.

Для предотвращения затопления соляных рудников необходимо обеспечивать сохранность ВЗТ, отделяющей водоносные горизонты от выработанного пространства рудника [4; 5]. Для этого в недрах оставляют часть соляных запасов в виде целиков, поддерживающих вышезалегающие породы. Однако если прорыв рассолов или пресных вод все-таки произошел, необходимо уменьшать интенсивность процессов затопления с целью обустройства водозащитных сооружений, эвакуации людей и оборудования.

Одним из способов снижения интенсивности затопления в соляных рудниках является устройство гидроизоляционных перемычек [6; 7]. Процесс возведения таких перемычек в условиях прорыва ВЗТ должен сопровождаться низкой трудоемкостью и минимальными временными затратами, что на сегодняшний день ввиду отсутствия средств механизации данной операции является трудно решаемой технической задачей.

Из указанного следует, что задача разработки средств механизации для возведения гидроизоляционных перемычек в соляных рудниках является актуальной, а её решение представляет научный и практический интерес.

Методы

Назначением гидроизоляционных перемычек является защита рудника от затопления и разобщение действующих и аварийных участков шахтного поля рудника.

Гидроизоляционные перемычки делятся на временные и постоянные. Временные необходимы для защиты от водопритока на время строительства постоянной перемычки.

На рис. 1 представлены принципиальные схемы применяемых в настоящее время гидроизоляционных перемычек.

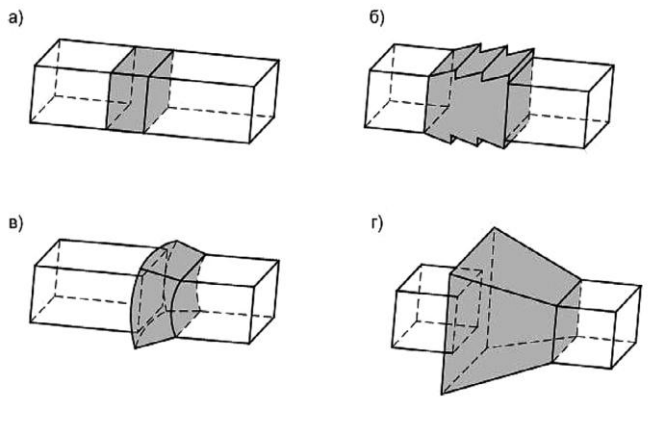

Рис. 1
Конструкции гидроизоляционных перемычек:
а – параллельные или безврубовые;
б – зубчатые;
в – сводчатые;
г – призматоидные

Fig. 1
Designs of the water-proof bulkheads:
а – parallel or no-cut;
б – serrated;
в – arched;
г – prismatic

Параллельные или безврубовые перемычки (рис. 1, *а*) имеют форму поперечного сечения, соответствующую форме поперечного сечения выработки. Процесс возведения таких перемычек простой, однако величина сил сцепления тела перемычки с прилегающими породами невелика, что определяет резкое увеличение толщины конструкции.

Зубчатые перемычки (рис. 1, *б*) в отличие от параллельных имеют повышенную силу сцепления тела перемычки с прилегающими породами за счет сформированной зубчатой поверхности в местах контакта перемычки с горным массивом.

Сводчатые перемычки (рис. 1, *в*) могут быть односторонне сводчатыми или сферическими. Такая форма способствует более благоприятной нагрузке перемычки.

Призматоидные перемычки (рис. 1, *г*) обеспечивают возможность переноса усилия от перемычки на горный массив благодаря сцеплению с вмещающими породами.

Взяв за основу представленные на рис. 1 конструкции, специалистами АО «ВНИИ Галургии» разработаны и запатентованы перспективные конструкции гидроизоляционных перемычек [8–11].

Для обеспечения нулевой фильтрации гидроизоляционного сооружения место его установки (рис. 2) выбирается таким образом, чтобы горно-геологические условия участ-

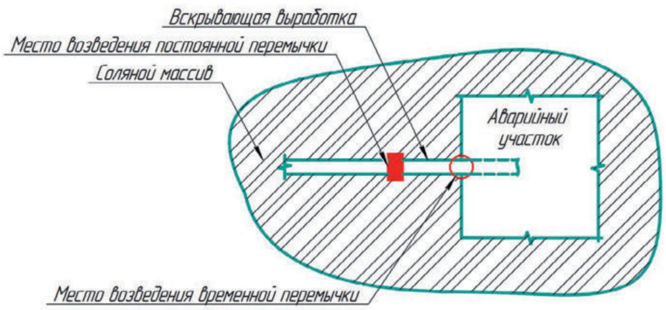

Рис. 2
Место установки гидроизоляционной перемычки

Fig. 2
Location of the water-proof bulkhead

ка исключали возможность движения рассолов в обход гидроизолирующих перемычек [1; 12; 13].

В связи с этим к месту установки гидроизоляционной перемычки предъявляются следующие требования:

– минимальная нарушенность горного массива, что достигается за счет выбора места установки в предохранительных целиках;

– исключение геомеханического влияния очистной выемки на место установки перемычки;

– перемычки должны сооружаться на горизонтальных участках выработок;

– выработки, в которых устанавливается перемычка, должны быть пройдены минимальным сечением: один, два хода комбайна;

– исключение вероятности движения рассолов в обход гидроизоляционной перемычки через смежные выработки;

– рекомендуется устанавливать перемычки в однородных породах.

Кроме того, стоит отметить, что при отработке месторождения панельным или панельно-блоковым способом, между панелями и блоками оставляют гидроизоляционный целик, который и является местом возведения гидроизоляционных перемычек. Фрагмент шахтного поля рудника с возведенными гидроизоляционными перемычками представлен на рис. 3.

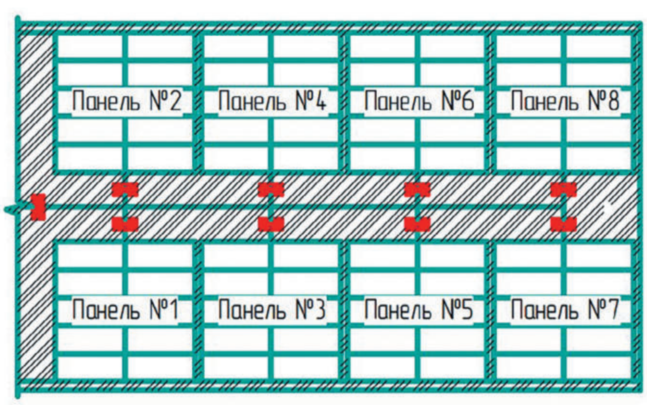

Рис. 3
Фрагмент шахтного поля рудника с возведенными гидроизоляционными перемычками

Fig. 3
A section of the mine field with erected water-proof bulkhead

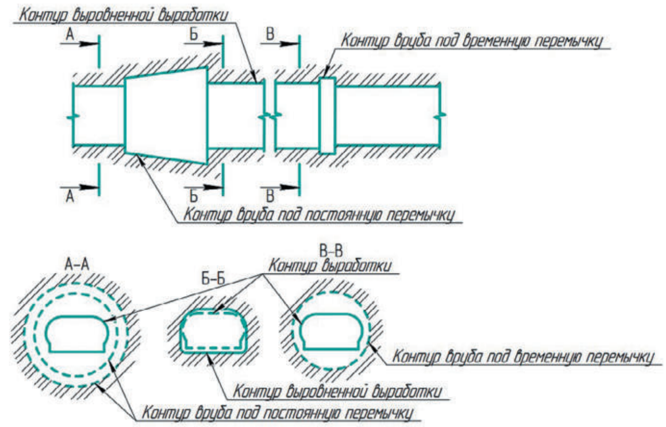

Рис. 4
Схема выполнения горнопроходческих работ при строительстве гидроизоляционных перемычек

Fig. 4
A layout for drifting operations during the erection of water-proof bulkheads

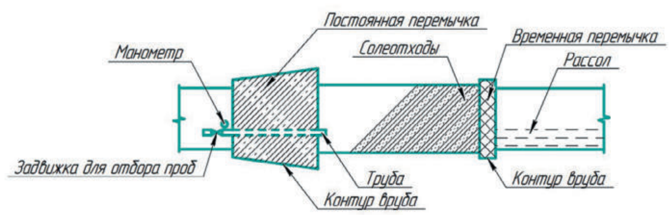

Рис. 5
Схема выполнения строительно-монтажных работ при строительстве гидроизоляционных перемычек

Fig. 5
A layout for construction and installation operations during the erection of water-proof bulkheads

Процесс возведения гидроизоляционных перемычек включает в себя горнопроходческие и строительно-монтажные работы.

К горнопроходческим работам (рис. 4) относят проходку вруба под временную и постоянную перемычку с подрезкой вскрывающей выработки, пройденной комбайнами до необходимых параметров для возведения гидроизоляционной перемычки.

К строительно-монтажным работам (рис. 5) относят строительство временной и постоянной перемычки, установку опалубки, производство бетонных работ, тампонажные работы.

При подготовке вруба для гидроизоляционной перемычки все работы по выемке породы проводятся в щадящем режиме с использованием отбойных молотков. При погрузке и транспортировке отбитой горной массы при зачистке врубов и контура горных выработок под перемычки также широко используется ручной труд горнорабочих.

Величина вруба для постоянной перемычки выбирается исходя из условий, при которых величина вруба превышает величину техногенной нарушенности приконтурных пород, возникших в период эксплуатации выработки (зона расслоения, трещинообразования или реализации деформаций ползучести соляных пород). Форма сечения контура вруба должна иметь плавную форму.

Перед возведением перемычки стенки выработки выравниваются вручную с использованием пескоструйного аппарата для создания достаточной шероховатости и обеспечения плотного равномерного опирания материалов перемычки и вмещающего породного массива. Для оптимального сцепления подрезанный участок должен быть зачищен от свободных частиц.

Первоначально возводят временную перемычку в качественно подготовленный вруб. Конструкция временной перемычки представляет собой быстровозводимую перегородку, выполненную из материалов, устойчивых к агрессивному действию рассола, обеспечивающую герметичность и возможность удержания гидростатического напора поступающих рассолов на время строительства постоянной перемычки. После сооружения временной перемычки участок выработки со стороны незатопленной части засыпается солеотходами или на нем устанавливается гидроупор из специальных материалов. Солеотходы служат как упор для временной перемычки, а также, в случае её прорыва, для предотвращения размыва выработки и обхода рассолами постоянной перемычки. Последнее достигается путем насыщения поступающих в указанную выработку рассолов всеми необходимыми компонентами, содержащимися в солеотходах и сходными по составу с вмещающими выработку породами.

Далее приступают к строительству постоянной перемычки. Прочность постоянной перемычки должна обеспечивать сопротивление горному давлению со стороны вмещающего массива и гидростатическому давлению со стороны рассолов. Материал, используемый для строительства перемычки, должен быть устойчивым к коррозии и выбираться исходя из конкретных горно-геологических и горнотехнических условий. В теле перемычки закладывается трубопровод (см. рис. 5) для организованного рассолоотлива, монтажа средств отбора проб рассола и монтажа контроля давления за перемычкой.

Строительство гидроизоляционных перемычек необходимо производить оперативно, качественно и в сжатые сроки. В настоящее время горнопроходческие работы при строительстве перемычек производятся отбойными молотками, а погрузка горной массы в транспортные средства – вручную. Производительность такого способа подготовки выработки крайне мала и обеспечение строительства в заложенные сроки требует большого количества работников. Механизация работ по проведению ниш под гидроизоляционные перемычки обусловит снижение временных затрат на подготовку выработок и уменьшение количества задействованных работников, тем самым снижая материальные затраты на выполнение данных работ.

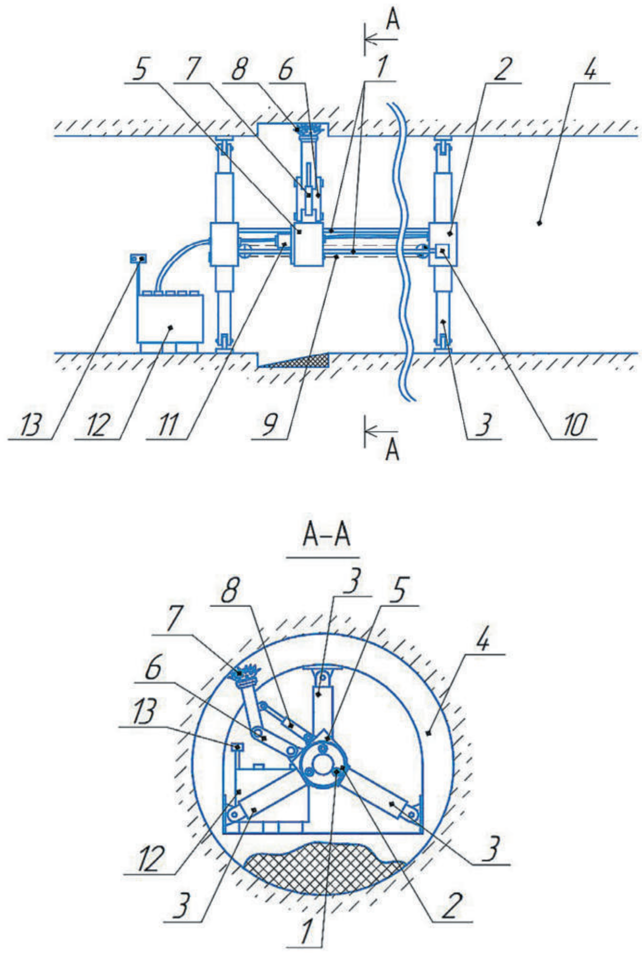

Рис. 6
Мобильный породоразрушающий агрегат:
1 – продольные направляющие;
2 – приспособления для крепления;
3 – конструкция из гидравлических стоек;
4 – выработка;
5 – каретка;
6 – манипулятор;
7 – породоразрушающий исполнительный орган;
8 – гидроцилиндр распора;
9 – механизм перемещения;
10 – привод;
11 – привод вращения;
12 – насосная станция;
13 – система управления

Fig. 6
A mobile rock-breaking machine:
1 – longitudinal guides;
2 – fixing devices;
3 – hydraulic props assembly;
4 – mine working;
5 – carriage;
6 – manipulator;
7 – rock-breaking actuator;
8 – thrust hydraulic cylinder;
9 – traveling mechanism;
10 – drive;
11 – rotation drive;
12 – pump station;
13 – control system

Результаты

Для механизации процесса проведения ниш при строительстве гидроизоляционных перемычек авторами предложена конструкция мобильного породоразрушающего агрегата (рис. 6) [14].

Мобильный породоразрушающий агрегат содержит продольные направляющие *1* с двумя приспособлениями для крепления *2*, каждое из которых выполнено в виде конструкции из гидравлических стоек *3* с возможностью раздвижки в радиальном направлении до упора в стенки выработки *4*.

На продольных направляющих между гидравлическими стойками установлена каретка *5* с возможностью перемещения вдоль направляющих *1*. На каретке установлен манипулятор *6* с закрепленным на нем породоразрушающим исполнительным органом *7*, выполненным в виде резцовой коронки с возможностью совершения вращательных движений вокруг продольных направляющих *1* и позиционирования относительно поверхности горной выработки посредством гидроцилиндра распора *8*.

Механизм перемещения *9* с приводом *10* обеспечивает поступательное перемещение каретки *5* с закрепленным манипулятором *6* и породоразрушающим исполнительным органом *7* вдоль направляющих *1*. Вращение манипулятора *6* с породоразрушающим исполнительным органом *7* вокруг каретки *5* и направляющих *1* осуществляется приводом *11*. Гидравлическая энергия для привода *10* механизма перемещения *9*, гидроцилиндра распора *8* манипулятора *6* и привода *11* вращения манипулятора *6* подается насосной станцией *12* с системой управления *13*.

При строительстве гидроизоляционной перемычки в выработке *4* устанавливают мобильный породоразрушающий агрегат.

Для позиционирования породоразрушающего исполнительного органа *7* и введения его в контакт с забоем подают рабочую жидкость в поршневую полость гидроцилиндра распора *8* манипулятора *6*. Затем включают подачу рабочей жидкости к приводу вращения *11*, за счет чего осуществляется вращение манипулятора *6* вокруг каретки *5* и продольных направляющих *1*.

Путем подачи рабочей жидкости к приводу *10* механизма перемещения *9* осуществляется поступательное перемещение каретки *5* с закрепленным манипулятором *6* и породоразрушающим исполнительным органом *7* вдоль направляющих *1*. Сочетание двух движений – вращения манипулятора вокруг каретки и поступательного перемещения каретки вдоль направляющих – позволяет породоразрушающему исполнительному органу совершать движение по траектории пространственной спирали, тем самым разрушать горные породы, при этом локально увеличивая площадь сечения выработки *4*.

Таким образом, применение описанного устройства позволит снизить трудоемкость выполнения работ при создании ниш для возведения гидроизоляционных перемычек в целях перекрытия пройденных горных выработок в калийных рудниках.

На представленную конструкцию получен патент на изобретение [14].

Заключение

Механизация процессов при строительстве гидроизоляционных перемычек путем внедрения описанного мобильного породоразрушающего агрегата позволит увеличить производительность и упростить процесс возведения гидроизоляционных перемычек, тем самым уменьшить сроки и время их возведения.

Использование агрегата позволит локально увеличить площадь поперечного сечения горной выработки на участке возведения перемычки, а также сформировать поверхность правильной формы с заданными параметрами.

Конструкция предлагаемого агрегата мобильна и транспортабельна. Позволяет перемещать составляющие узлы по горным выработкам, не прибегая к демонтажу существующих коммуникаций. Простота конструкции позволяет собирать и демонтировать машину в короткие сроки.

Список литературы / References

1. Шемет С.Ф., Шутин С.Г. Защита калийных рудников от рассолопритоков. *Горный журнал*. 2014;(2):36–40. Режим доступа: https://www.rudmet.ru/journal/1285/article/21873/ (дата обращения: 27.04.2025).
Shemet S.F., Shutin S.G. Protection of potassium mines from brine inflows. *Gornyi Zhurnal*. 2014;(2):36–40. (In Russ.) Available at: https://www.rudmet.ru/journal/1285/article/21873/ (accessed: 27.04.2025).

2. Зубов В.П., Ковальский Е.Р., Антонов С.В., Пачгин В.В. Повышение безопасности рудников при отработке Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019;(5):22–33. https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-05-0-22-33
Zubov V.P., Kovalski E.R., Antonov S.V., Pachgin V.V. Improving the safety of mines in developing Verkhnekamsk potassium and magnesium salts. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2019;(5):22–33. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-05-0-22-33

3. Zhang F. Research on rock permeability and failure characteristics under different loading and unloading paths. Acta Geophysica. 2022;70(3):1363–1371. https://doi.org/10.1007/s11600-022-00788-6

4. Барях А.А., Губанова Е.А. О мерах охраны калийных рудников от затопления. *Записки Горного института*. 2019;240:613–620. https://doi.org/10.31897/PMI.2019.6.613
Baryakh A.A., Gubanova E.A. On flood protection measures for potash mines. *Journal of Mining Institute*. 2019;240:613–620. https://doi.org/10.31897/PMI.2019.6.613

5. Meye S.M., Shen Z. Research on the permeability characteristics of granite with different weathering degrees before and after the influence of mining method construction. *Engineering*. 2020;12(6):382–400. https://doi.org/10.4236/eng.2020.126029

6. Морозов К.В., Дёмёхин Д.Н., Котлов С.Н., Абашин В.И. Шахтные экспериментальные исследования фильтрационных свойств горных пород на глубоких горизонтах месторождений калийных солей для создания водозащитных перемычек. *Горный журнал*. 2023;(5):25–31. https://doi.org/10.17580/gzh.2023.05.04
Morozov K.V., Demekhin D.N., Kotlov S.N., Abashin V.I. In-situ permeability testing of deep-level potash salt rocks with a view to creating water retaining walls. *Gornyi Zhurnal*. 2023;(5):25–31. (In Russ.) https://doi.org/10.17580/gzh.2023.05.04

7. Жуков А.А., Пригара А.М., Царев Р.И., Ворошилов В.А. Решение горнотехнических задач на месторождении калийных солей методами геофизики. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(5-1):82–91. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_51_0_82
Zhukov A.A., Prigara A.M., Tsarev R.I., Voroshilov V.A. Solution of mining engineering problems at a potassium salt deposit using geophysical methods. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(5-1):82–91. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_51_0_82

8. Русаков М.И., Алыменко Д.Н. *Способ гидроизоляции горных выработок калийных рудников*. Патент РФ RU2681760C1, опубл. 12.03.2019.

9. Коробейников А.А., Ванк В.В., Шкуратский Д.Н. *Гидроизоляционное сооружение*. Патент РФ RU2801986C1, опубл. 22.08.2023.

10. Смирнов Э.В., Зданович М.Я., Урминский Д.Г., Скопинов М.В., Курсанин Ю.В., Салахиев Д.Ф. и др. *Способ герметизации участка горной выработки в калийном руднике*. Патент РФ RU2801258C1, опубл. 04.08.2023.

11. Русаков М.И., Алыменко Д.Н. *Способ гидроизоляции горных выработок калийных рудников*. Патент РФ RU2634760C1, опубл. 03.11.2017.

12. Teare B.L, H Ruiz., Agbona A., Wolfe M., Dobreva I., Adams T. et al. *Effect of soil water on GPR estimation of bulked roots, methods, and suggestions*. Preprint (Version 1). 22 September 2021. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-907807/v1

13. Giannino F., Leucci G. *Electromagnetic Methods in Geophysics: Applications in GeoRadar, FDEM, TDEM, and AEM*. John Wiley & Sons, Inc.; 2021. 304 p. https://doi.org/10.1002/9781119771012

14. Шишлянников Д.И., Прософский К.А., Грибов Д.С., Тюбеев И.Х., Ситников Д.С. *Мобильный породоразрушающий агрегат*. Патент РФ RU2832727C1, опубл. 28.12.2024.

Информация об авторах
Шишлянников Дмитрий Игоревич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры горной электромеханики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация; https://orcid.org/0000-0002-7395-6869
Просовский Константин Александрович – ведущий инженер, АО «ВНИИ Галургии» филиал в г. Санкт-Петербург, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
Тюбеев Ибрагим Хизирович – аспирант кафедры горной электромеханики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация
Грибов Дмитрий Сергеевич – начальник горного отдела, АО «ВНИИ Галургии» филиал в г. Санкт-Петербург, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: dmitriy.gribov@mail.ru

Информация о статье
Поступила в редакцию: 19.05.2025
Поступила после рецензирования: 09.07.2025
Принята к публикации: 14.07.2025

Information about the authors
Dmitriy I. Shishlyannikov – Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Professor of Mining Electromechanics Department, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation; https://orcid.org/0000-0002-7395-6869
Konstantin A. Prosovskiy – Leading Engineer, VNII Galurgii JSC in Saint-Petersburg, Saint-Petersburg, Russian Federation
Ibragim K. Tubeev – Postgraduate Student of Department of Mining Electromechanics, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation
Dmitry S. Gribov – Head of the Mining Department, VNII Galurgii JSC in Saint-Petersburg, Saint-Petersburg, Russian Federation; e-mail: dmitriy.gribov@mail.ru

Article info
Received: 19.05.2025
Revised: 09.07.2025
Accepted: 14.07.2025