УДК 622.257 DOI: 10.21440/0536-1028-2021-5-18-27

Способ контроля соляной поверхности для установки кейлькранцев шахтных стволов

Загвоздкин И. В.[1]
[1] Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал, г. Пермь, Россия
e-mail: iv.zagvozdkin@yandex.ru

Реферат

Введение. *При проходке шахтных стволов калийных и соляных рудников предусматривается возведение гидроизоляционных устройств. Во всех стволах, пройденных на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей к настоящему времени, такими устройствами служат кейлькранцы. Устройство и обработка стенки боковой поверхности ствола в значительной степени оказывает влияние на свойства герметизации участка устройства пикотажного шва.*

Методика проведения исследований. *Для определения оптимального места заложения кейлькранцев выполняют площадное исследование всей поверхности породной стенки ствола (по всему периметру) методами неразрушающего контроля: определяют наличие трещин в породе и прочностные характеристики каменной соли. Прочность породы оценивается на качественном уровне, особое внимание уделяется изменчивости показаний ультразвукового измерителя скорости по периметру ствола. Также учитываются значения электрической емкости воздушного зазора, образованного между поверхностью соляной породы шахтного ствола и поверхностью датчика прибора для измерения электрической емкости при размещении его на контролируемой поверхности. По данным участков замеров и соответствующих значений емкости для каждого из замеренных участков в таком же порядке были показаны значения шероховатости. Указаны критерии, которым должна соответствовать породная стенка в месте заложения кейлькранца.*

Результаты. *Представлено краткое описание методики определения шероховатости и контроля целостности соляной породной стенки шахтного ствола в месте заложения кейлькранцев. Изложены практические результаты хронометражных наблюдений обработки породной стенки, результаты измерений шероховатости образцов соляной породы, результаты замеров емкости воздушного зазора и результаты контроля целостности породной стенки в месте заложения кейлькранца.*

Выводы. *Установлены рациональные параметры шероховатости, значения прочностных характеристик, значения скорости распространения ультразвука околоствольной породы. Определено, что рациональной заменой органолептического исследования является объективная регистрация результатов с использованием измерительных приборов и средств фиксации результатов.*

Ключевые слова: *шахтный ствол; кейлькранец; пикотажный шов; обработка породной стенки; контроль шероховатости; контроль целостности стенки; Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей.*

Общие сведения. На Верхнекамском месторождении солей (ВКМС) [1] в комплексе надсолевых отложений выделено четыре водоносных горизонта, различных по водообильности и коэффициентам фильтрации. Естественным водоупором является толща покровной каменной соли (ПКС), мощность которой в пределах шахтных полей работающих и строящихся рудников составляет около 20 м [2–5]. В силу обводненности надсолевого комплекса пород, в нижней части которого подземные воды представлены высокоминерализованными рассолами, проходка всех шахтных стволов на месторождении до настоящего времени осуществлялась с использованием специальных методов [6, 7].

Контроль состояния обработанной боковой породной стенки [8] проводился органолептическим методом, при котором первичная информация воспринимается посредством органов чувств, без учета численного значения контролируемых признаков. В значительной степени достоверность полученной таким образом оценки зависит от опыта специалиста (эксперта).

Ольховиковым Ю. П. [9] указаны критерии, которым должна соответствовать породная стенка в месте установки кейлькранца. Они сводятся к следующему: породная стенка тщательно обрабатывается, шлифуется. Это позволяет более детально обследовать ее поверхность с целью обнаружения трещин, которые могли бы в будущем послужить причиной потери герметичности всего устройства. При устройстве кейлькранцев в соляных породах такой контроль обязателен. Необходимо соизмерять нагрузки от пикотажного уплотнения с физико-механическими свойствами пород [10], образующих породную стенку кейлькранца, в частности с пределом прочности при сжатии, которое должно быть не менее 25 МПа.

Таблица 1. Результаты измерений шероховатости образцов соляной породы
Table 1. Measurement data of salt rock samples roughness

Номер образца	Шероховатость, мкм		
	Участок 1	Участок 2	Участок 3
1	2,20	2,70	4,20
2	4,90	4,80	4,70
3	1,70	1,80	2,20
4	2,20	3,80	4,40
5	3,70	3,10	6,70
6	4,12	4,78	5,29
7	3,94	4,43	4,42

Методология контроля целостности породных стенок при строительстве шахтных стволов. Процесс геофизических исследований при контроле за состоянием поверхности породной стенки в районе пикотажного уплотнения можно разделить на следующие этапы:

– разбиение и разметка периметра шахтного ствола на метровые отрезки (за начало измерения принимается отметка направления на север);

– визуальный осмотр поверхности породной стенки;

– измерение прочности породной стенки на площадках размером 1 м^2, с шагом по периметру 1 м;

– измерения методом ультразвуковой томографии по периметру ствола с шагом 1 м, вдоль и поперек залегания пластов.

Автором предложен инструментальный способ контроля, который заключается в следующем. После проходки ствола в необводненных породах каменной соли для определения оптимального места заложения кейлькранцев выполняют площадное исследование всей поверхности породной стенки ствола (по всему периметру) методами неразрушающего контроля: определяют наличие трещин в породе и прочностные характеристики каменной соли. Прочность породы оценивается на качественном уровне, особое внимание уделяется изменчивости показаний ультразвукового измерителя скорости по периметру ствола. Значительные отклонения указывают на соответствующие изменения прочностных свойств. Для измерений прочности породного массива использовался прибор ИПС–МГ 4.01. Диапазон рабочих температур от –10 °С до +40 °С , относительная влажность воздуха до 80 %,

атмосферное давление от 630 до 800 мм рт. ст. Конструктивно прибор выполнен в виде двух блоков: блока электронного измерителя; склерометра. Диапазон определения прочности – 3–100 МПа, энергия удара – 0,16 Дж, время на измерение прочности участка – 15 с. Наличие трещин определялось ультразвуковым методом.

Рис. 1. Измерение емкости образцов прибором LCR
Fig. 1. Measuring the capacitance of samples with an LCR device

По полученным данным инструментальных замеров определен наиболее подходящий интервал (с минимальным количеством, глубиной и раскрытием трещин) поверхности шахтного ствола, сложенного соляными породами, для установки опорного кольца кейлькранца.

Таблица 2. Взаимосвязь емкости и шероховатости образцов соляной породы
Table 2. Relationship between salt rock samples capacity and roughness

Номер образца	Емкость, пФ	Шероховатость, мкм
1	34,8	1,90
2	50,2	4,00
3	51,4	4,03
4	53,9	4,40
5	55,3	4,60
6	57,7	4,80
7	59,6	5,03

Данный способ позволяет с помощью комплексного инструментального контроля провести площадное исследование породных стенок шахтного ствола,

достоверно определить как наличие трещин в соляном массиве, так и прочностные свойства пород в местах предлагаемой установки деревянных кейлькранцев.

Технология и способы контроля при строительстве кейлькранцев в шахтных стволах калийных рудников. Перед монтажом тюбингов кольца кейлькранца выполняется тщательная подготовка вертикальных поверхностей породных стенок шахтного ствола [11, 12]. Эти работы производятся в основном при помощи станка для обработки поверхности СОБПС-1. Обработка стенок шахтного ствола осуществляется сменными рабочими органами двух типов: шарошечной фрезой для грубой обработки и фуганочной фрезой для чистовой обработки. Вращение фрезы осуществляется гидромотором ОМР100, установленным на верхнем проеме фрезы [13, 14].

Таблица 3. Результаты замеров емкости воздушного зазора породной стенки шахтного ствола
Table 3. Measurement data of mine shaft rock wall air gap capacity

Номер замера	Емкость, пФ	Номер замера	Емкость, пФ	Номер замера	Емкость, пФ
1	33,1	20	39,0	39	48,9
2	64,0	21	60,9	40	31,4
3	60,0	22	38,8	41	49,6
4	48,0	23	34,2	42	32,6
5	70,6	24	60,0	43	30,5
6	39,0	25	42,1	44	39,2
7	37,9	26	53,4	45	42,0
8	57,7	27	43,0	46	33,6
9	31,0	28	41,1	47	45,9
10	32,8	29	47,0	48	40,0
11	45,9	30	36,3	49	48,0
12	44,4	31	41,5	50	52,4
13	36,1	32	43,6	51	42,3
14	36,3	33	40,6	52	34,3
15	46,9	34	33,7	53	43,8
16	33,4	35	63,3	54	41,6
17	49,0	36	42,0	55	34,2
18	36,1	37	53,6	56	45,8
19	46,3	38	31,3		

Далее приведены результаты хронометражных наблюдений обработки породной стенки строящегося рудника.

Время, затраченное на грубую (первоначальную) обработку поверхности стенки в соляных породах станком СОБПС-1, составляет 31 ч. Периметр обработанной породной стенки – 31 м, соответственно, скорость обработки – 1 м/ч. Время на чистовую (окончательную) обработку поверхности стенки составляет 9 ч, скорость обработки – 3,44 м/ч.

Методология контроля шероховатости поверхности шахтных стволов в соляных породах. Автором предложен инструментальный метод контроля [15, 16]. Для проведения инструментальных испытаний контроля поверхности разработаны методика и программа проведения приемочных испытаний. Первоначально

методика опробована в лабораторных условиях на различных образцах породы. Величина шероховатости соляных образцов измерялась профилометром Hommel-Etamic W5.

Для измерений шероховатости изготовлено семь образцов соляной породы. На каждом образце произвольно выбрано по три участка, все образцы пронумерованы. Результаты измерений представлены в табл. 1.

После получения значений шероховатости на этих же образцах определена емкость воздушного зазора между породой и специально изготовленным датчиком с помощью прибора LCR. На рис. 1 приведен пример измерения емкости образцов. Результаты измерений приведены в табл. 2.

Рис. 2. Исследование прочности породы прибором ИПС-МГ4.01
Fig. 2. Rock strength study with an IPS-MG4.01 device

По полученным данным построена регрессионная модель, описывающая линейную зависимость между параметрами *емкость* и *шероховатость*. Уравнение регрессии: $y = a_0 + a_1x$, где $a_0 = –2{,}4805$, $a_1 = 0{,}1271$.

Проверка значимости отдельных параметров регрессии связана с определением расчетных значений *t*-статистики (критерий Стьюдента). Параметр регрессии признается значимым при уровне значимости α, если: $\left|t_{\text{расч}}\right| > t_{\text{табл}}$.

В этом случае практически невероятно, что найденное значение параметра обусловлено только случайными совпадениями. Уровень значимости α показывает вероятность принятия ошибочного решения, например, при α = 0,01 в среднем в одном случае из ста есть риск сделать ошибочное заключение о статистической значимости параметра.

На основании построенной линейной модели для замеренных в шахте значений емкости рассчитаны соответствующие замеры шероховатости профилометром Hommel-Etamic W5. Затем в этих же местах определены значения электрической емкости воздушного зазора, образованного между поверхностью соляной породы шахтного ствола и поверхностью датчика прибора для измерения электрической емкости при размещении его на контролируемой поверхности. После проведения замеров на конкретных участках и расчетов соответствующих значений емкости для каждого из них в таком же порядке определены значения шероховатости.

Замеры емкости воздушного зазора в соответствии с номером замера соляной породной стенки строящегося шахтного ствола указаны в табл. 3. Периметр обрабатываемой стенки равномерно разделен на тридцать пикетов с интервалом в 1 м. Контроль шероховатости породной стенки проводился через промежуток 0,5 м (общее количество замеров 56).

Рис. 3. Исследование на наличие трещин прибором MIRA A1040
Fig. 3. Cracks presence test with a MIRA A1040 device

Оценка результатов контроля целостности породных стенок при строительстве шахтных стволов. При использовании механического метода, в зависимости от применяемых приборов, косвенными характеристиками прочности являются:

– значение отскока бойка от поверхности породы (или прижатого к ней ударника);

– параметр ударного импульса (энергия удара);

– размеры отпечатка на породе (диаметр, глубина) или соотношение диаметров отпечатков на породе и стандартном образце при ударе индентора или вдавливании индентора в поверхность породы.

Электронный блок, в соответствии с установленной градуировочной характеристикой, преобразует параметры ударного импульса (ускорение и время) в прочность. Результаты измерений выводятся на дисплей измерителя. По окончании цикла происходит автоматическая обработка результатов, и на дисплее отображается среднее арифметическое значение прочности из пятнадцати единичных результатов. Процесс измерения прочности в районе ПК 5 представлен на рис. 2.

В предполагаемом месте заложения кейлькранца (в шахтных условиях) отобрано 5 образцов каменной соли и в лабораторных условиях проведены исследования прочности прибором ИПС-МГ4.01, затем проведены исследования прочности этих образцов на прессе MTS Criterion. По результатам проведенных исследований среднее значение прочности ИПС-МГ4.01 равно 31,3 МПа, среднее значение прочности MTS Criterion равно 30,95 МПа, что является сопоставимыми значениями, и дает основание для применения прибора ИПС-МГ4.01 в шахтных условиях.

Таблица 4. Результаты контроля целостности породной стенки
Table 4. Results of rock wall integrity control

Номер замера	Прочность, МПа	Скорость, м/с	Наличие трещин при визуальном осмотре	Наличие трещин по результатам томографии
1	35,5	2600	Нет	Нет
2	35,9	2530	Нет	Нет
3	35,6	2560	Нет	Нет
4	35,9	2560	Нет	Нет
5	34,6	2560	Нет	Нет
6	34,8	2510	Нет	Нет
7	36,6	2600	Нет	Нет
8	38,2	2530	Нет	Нет
9	36,5	2500	Нет	Нет
10	36,2	2500	Нет	Нет
11	33,2	1910	Да	Да
12	33,9	2500	Нет	Нет
13	34,5	2560	Нет	Нет
14	37,3	2580	Нет	Нет
15	31,2	2580	Нет	Нет
16	37,0	2580	Нет	Нет

Изучение породного массива на наличие трещин и неоднородностей проводилось методом ультразвуковой томографии аппаратурой MIRA A1040. Прибор предназначен для контроля бетона и горных пород при одностороннем доступе к ним с целью определения целостности материала, поиска инородных включений, полостей, расслоений и трещин. Прибор позволяет быстро и эффективно обследовать обширные объекты с полным документированием результатов и возможностью их предварительного анализа. Прибор предназначен для эксплуатации при температуре от –10 до +50 °С, минимальная и максимальная глубина прозвучания по бетону 50 и 2500 мм соответственно, рабочая частота ультразвуковых волн – 25–80 кГц. На рис. 3 представлены замеры породного массива на наличие трещин. По результатам работ выполнена камеральная обработка и интерпретация полученных материалов. Результаты контроля целостности породной стенки боковой поверхности ствола представлены в табл. 4.

Средняя прочность породной стенки, подготовленной для установки кейлькранца, изменяется в диапазоне от 31,2 до 38,2 МПа. Стенка соляной породы (каменной соли) в месте установки кейлькранца характеризуется нормальными значениями прочности. По результатам проведенных исследований скорость распространения ультразвука в породной стенке в среднем составляет 2510 м/с, практически установлено, что уменьшение скорости распространения ультразвука на 24 % означает наличие трещины.

Выводы. Время, затраченное на грубую (первоначальную) обработку поверхности стенки в соляных породах станком СОБПС-1, составляет 31 ч. Периметр обработанной породной стенки – 31 м, соответственно, скорость обработки – 1 м/ч. Время на чистовую (окончательную) обработку поверхности стенки составляет 9 ч, скорость обработки – 3,44 м/ч.

Фактические значения шероховатости обработанной соляной породной стенки строящегося ствола составляют от 1,4 до 6,5 мкм (практически установлено, что значения шероховатости могут достигать 10,7 мкм). Указанные автором значения шероховатости являются рациональными при подготовке породной стенки к установке кейлькранца.

Средняя прочность породной стенки, подготовленной для установки кейлькранца, изменяется в диапазоне от 31,2 до 38,2 МПа, при допустимой не менее 25 МПа.

Средняя скорость распространения ультразвука в породной стенке составляет 2510 м/с, скорость распространения ультразвука менее 2000 м/с указывает на наличие трещин, полостей и расслоений.

Область применения результатов. Указанные значения рационально использовать при подготовке породной стенки для установки кейлькранцев во время строительства шахтных стволов, а также гидроизоляционных сооружений других стволов на ВКМС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Филатов В. В., Болотнова Л. А. Обобщение опыта прогнозирования динамических явлений на Верхнекамском месторождении калийных солей по геолого-геофизическим данным // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 4. С. 61–70.

2. Пучков П. Е. Проходка Соликамской калийной шахты № 2 способом глубокого замораживания. Грозный, Л., Новосибирск: ГНТИ, 1934. 236 с.

3. Литвин А. З., Поляков Н. М. Проходка стволов шахт специальными способами. М.: Недра, 1974. 328 с.

4. Андреичев А. Н. Гидрогеологические и горнотехнические условия и методы вскрытия калийных месторождений // Тр. ВНИИГ. 1973. Вып. 65. С. 3–86.

5. Проскуряков Н. М., Пермяков Р. С., Черников А. К. Физико-механические свойства соляных пород. Л.: Недра, 1973. 271 с.

6. Тарасов В. В., Загвоздкин И. В., Николаев П. В. Опыт применения гидроизоляционных устройств комбинированного типа в шахтных стволах калийных рудников // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2020. Вып. 3. С. 188–201.

7. Смирняков В. В., Вихарев В. И., Очкуров В. И. Технология строительства горных предприятий. М.: Недра, 1989. 573 с.

8. Кузичкин А. Н., Тараньжин С. Ю. Некоторые вопросы обеспечения герметичности тюбинговой крепи вертикальных стволов рудников в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей // Горное оборудование и электромеханика. 2012. № 4. С. 39–43.

9. Ольховиков Ю. П. Крепь калийных горных выработок калийных и соляных рудников. М.: Недра, 1984. 238 с.

10. Разработка методики расчета допустимых нагрузок на породную стенку кейлькранцев: отчет по НИР / ЛГИ им. Г. В. Плеханова; рук. Н. С. Булычев. Л., 1974. 66 с.

11. Шильдер Р., Россов С., Баннушер Д., Загвоздкин И. В. Успешная оптимизация качества и скорости выполнения работ при сооружении традиционных кейлькранцев при проходке двух стволов способом замораживания // Безопасность труда в промышленности. 2015. № 9. С. 32–36.

12. Вязовов В. В. Изучение метода и материалов по созданию гидроизоляции в шахтных стволах калийных рудников. Л.: ВНИИГ, 1965. 159 с.

13. Инструкция на сооружение гидроизоляционных устройств (кейлькранца) при проходке стволов на калийных месторождениях (вторая редакция). Пермь–Березники: Галургия, 1974. 39 с.

14. Рекомендации по конструкции и технологии устройства кейлькранцев в условиях Палашерского и Балахонцевского участков ВКМКС: отчет по НИР. Пермь: Галургия, 2011. 47 с.

15. Способ контроля шероховатости поверхности шахтных стволов в соляных породах: пат. 2612755 Рос. Федерация. G01N 27/22. № 2015145753; заявл. 23.10.2015; опубл. 13.03.2017. Бюл. № 12. 4 с.

16. Способ контроля целостности породных стенок при строительстве шахтных стволов: пат. 2716760 Рос. Федерация. E21c 39/00. № 2019116197; заявл. 27.05.2019; опубл. 16.03.2020. Бюл. № 8. 5 с.

Поступила в редакцию 13 апреля 2021 года

Сведения об авторах:

Загвоздкин Иван Васильевич – старший преподаватель кафедры технологии и комплексной механизации Березниковского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета. E-mail: iv.zagvozdkin@yandex.ru; https://orcid.org/0000-0003-1457-637x

DOI: 10.21440/0536-1028-2021-5-18-27

Method of salt surface control for keilkranz installation in mine shafts

Ivan V. Zagvozdkin[1]
[1] Perm National Research Polytechnic University (Berezniki Branch), Perm, Russia.

Abstract

Introduction. *Potash and salt mines shaft sinking involves the construction of waterproofing devices. In all shafts of the Upper Kama deposit of potassium-magnesium salt, keilkranz is in charge of this function. Shaft's side wall construction and treatment greatly affect the sealing properties of the picotage seam construction area.*

Methods of research. *An areal study of the entire surface of the shaft rock wall (along the entire perimeter) by non-destructive testing methods is carried out to find the best possible site for the keilkranz. The presence of cracks in the rock is detected, and the strength characteristics of rock salt are determined. The rock strength is assessed qualitatively paying special attention to the variability of the ultrasonic velocity meter readings along the perimeter of the shaft. There is an air gap between the mine shaft salt rock surface and the surface of the sensor of the electrical capacity measuring device. The values of the electrical capacity of the air gap are considered when the sensor is placed on the target surface. The roughness values were shown in the same sequence as the measurement section data and the respective capacitance values. The paper indicates the criteria the rock wall with the keilkranz installed must meet.*

Results. *The methods for determining the roughness and controlling the integrity of the shaft's salt rock wall there where the keilkranz is installed are briefly described. The practical results of chronometric observation of rock wall treatment are presented, as well as the measurement results of the salt rock samples roughness, measurement data of the air gap capacity, and the results of monitoring the integrity of the rock wall at the keilkranz site.*

Conclusions. *The rational parameters of roughness have been determined as well as the values of strength characteristics and the values of the shaft rock ultrasound propagation velocity. It has been determined that a method of results objective record with the use of measuring instruments and means of results record may be a rational substitute for organoleptic research.*

Keywords: *mine shaft; keilkranz; picotage seam; rock wall treatment; roughness control; wall integrity control; Upper Kama deposit of potassium-magnesium salt.*

REFERENCES

1. Filatov V. V., Bolotnova L. A. Generalizing the experience of forecasting dynamic events at the Upper Kama potassium salt deposit according to geological and geophysical data. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 4: 61–70. (In Russ.)

2. Puchkov P. E. *Sinking Solikamsk potassium salt shaft no. 2 by the deep-refrigerating method*. Grozny, Leningrad, Novosibirsk: GNTI Publishing; 1934. (In Russ.)

3. Litvin A. Z., Poliakov N. M. Special methods of shaft sinking. Moscow: Nedra Publishing; 1974. (In Russ.)

4. Andreichev A. N. Hydrogeological and mining conditions and methods of potassium deposits stripping. *Tr. VNIIG = Proceeding of the All-Russian Vedeneev Hydraulic Engineering Research Institute*. 1973; 65: 3–86. (In Russ.)

5. Proskuriakov N. M., Permiakov R. S., Chernikov A. K. *Physical and mechanical properties of salt rock*. Leningrad: Nedra Publishing; 1973. (In Russ.)

6. Tarasov V. V., Zagvozdkin I. V., Nikolaev P. V. Experience at the application of waterproofing devices combined type in the shafts of potash mines. *Izvestiia Tulskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle = Proceedings of the Tula State University. Earth Sciences*. 2020; 3: 188–201. (In Russ.)

7. Smirniakov V. V., Vikharev V. I., Ochkurov V. I. *The technology of mining enterprises construction*. Moscow: Nedra Publishing; 1989. (In Russ.)

8. Kuzichkin A. N., Taranzhin S. Iu. Some questions of arrangement of mine shafts tubing support watertightness under the conditions of Verkhnekamsky potassium salt deposit. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika = Mining Equipment and Electromechanics*. 2012; 4: 39–43. (In Russ.)

9. Olkhovikov Iu. P. *Potash mine workings and salt mines support*. Moscow: Nedra Publishing; 1984. (In Russ.)

10. Bulychev N. S. *Developing the methods of assessing the permissible load on the keilkranz rock wall:* R&D report, Plekhanov LSI. Leningrad; 1974. (In Russ.)

11. Shilder R., Rossov S., Bannusher D., Zagvozdkin I. V. Successfully optimizing the quality and speed of work when constructing conventional water seals when sinking two shafts by the method of refrigeration. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2015; 9: 32–36. (In Russ.)

12. Viazovov V. V. Methods and material for insulation in potassium mine shafts. *Tr. VNIIG = Proceeding of the All-Russian Vedeneev Hydraulic Engineering Research Institute*. Leningrad; 1965. (In Russ.)

13. *User manual on waterproofing devices installation (keilkranz) when sinking shafts at potassium deposits*. Perm–Berezniki: Galurgiia Publishing; 1974. (In Russ.)

14. *Recommendations for keilkranz construction and installation technology in the conditions of the Palashersky and Balakhontsevsky sections of VKMKS:* R&D report. Perm: Galurgiia Publishing; 2011. (In Russ.)

15. Zagvozdkin I. V., Belkin V. V. *Method of controlling the roughness of mine shafts in salt rocks*. Patent RF no. 2612755; 2017. (In Russ.)

16. Tarasov V. V., Ivanov O. V., Pestrikova V. S., Prigara A. M., Zagvozdkin I. V. *Method of controlling the integrity of rock walls when constructing mine shafts*. Patent RF no. 2716760; 2020. (In Russ.)

Received 13 April 2021

Information about authors:

Ivan V. Zagvozdkin – senior lecturer, Department of Technology and Integrated Mechanization, Perm National Research Polytechnic University (Berezniki Branch). E-mail: iv.zagvozdkin@yandex.ru; https://orcid.org/0000-0003-1457-637x

Для цитирования: Загвоздкин И. В. Способ контроля соляной поверхности для установки кейлькранцев шахтных стволов // Известия вузов. Горный журнал. 2021. № 5. С. 18–27. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-5-18-27

For citation: Zagvozdkin I. V. Method of salt surface control for keilkranz installation in mine shafts. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2021; 5: 18–27 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2021-5-18-27