

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ КРЕПЛЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ В ШАХТНЫХ СТВОЛАХ ПО ФАКТОРУ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА

В.С. Пестрикова¹, В.В. Тарасов¹, О.В. Иванов¹

¹ АО «ВНИИ Галургии», Пермь, Россия, e-mail: Varvara.Pestrikova@uralkali.com

Аннотация: Приведена краткая характеристика конструкций крепления трубопроводов, применяемых в шахтных стволах калийных рудников. Обозначены существующие параметры расчета на прочность и устойчивость ответственных металлоконструкций в шахтных стволах. Рассмотрена существующая нормативная и методическая база по расчету конструкций крепления трубопроводов в шахтных стволах. Обоснована необходимость учета повышенного коррозионного износа как одного из ключевых факторов, влияющих на фактическое эксплуатационное состояние длительно эксплуатируемых металлоконструкций в агрессивных условиях шахтных стволов калийных рудников. Введено понятие предельно допустимого коррозионного износа опорных конструкций как одного из критериев эксплуатационного состояния конструкций крепления трубопроводов в шахтных стволах. Предложен алгоритм расчета предельно допустимого коррозионного износа опорных балок конструкций крепления трубопроводов. Приведены выборочные результаты проведенных расчетов предельно допустимого коррозионного износа конструкций крепления трубопроводов в длительно эксплуатируемых шахтных стволах калийных рудников. Приведены выводы на основании полученных результатов расчета. Предложено прикладное значение полученных величин предельно допустимого коррозионного износа как для эксплуатируемых, так и для вновь проектируемых конструкций крепления трубопроводов для условий шахтных стволов калийных рудников. Приведен алгоритм действий для определения предельно допустимого коррозионного износа длительно эксплуатируемых конструкций крепления трубопроводов.

Ключевые слова: шахтный ствол, крепь ствола, опорные балки, трубопроводы, поверочный расчет, коррозионный износ, инструментальные замеры, расчет металлоконструкций.

Для цитирования: Пестрикова В. С., Тарасов В. В., Иванов О. В. К вопросу определения состояния конструкций крепления трубопроводов в шахтных стволах по фактору коррозионного износа // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 10. – С. 78–87. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_10_0_78.

Condition detection of pipeline holding in mine shafts by the corrosive wear criterion

V.S. Pestrikova¹, V.V. Tarasov¹, O.V. Ivanov¹

¹ Joint Stock Company VNII Galurgii, Perm, Russia, e-mail: Varvara.Pestrikova@uralkali.com

Abstract: The pipeline holding structure in application in potash mine shafts is briefly described. The current strength and stability design parameters for the mine shaft metalwork are specified. The current regulations and procedures for the pipeline holding system design in mine shafts are discussed. It is required to take into account the increased corrosive wear as a key factor of influence on the actual operating condition of continuous-duty metalworks in the aggressive environment of potash mine shafts. The maximum permissible corrosive wear notion is introduced as a criterion of operating condition of pipeline holding in mine shafts. The algorithm of calculating the maximum permissible corrosive wear of pipeline support beams in mine shafts is proposed. The sample calculated results of the maximum permissible corrosive wear of pipeline holding in long-duty shafts in potash mines are presented. The applied relevance of the obtained maximum permissible corrosive wear values is proposed for both operating and new-design structures of pipeline holding in potash mine shafts. The maximum permissible corrosive wear algorithm is given for long-duty holding of pipelines.

Key words: mine shaft, shaft lining, support beams, pipelines, checking calculation, corrosive wear, instrumental measurements, metalwork design.

For citation: Pestrikova V. S., Tarasov V. V., Ivanov O. V. Condition detection of pipeline holding in mine shafts by the corrosive wear criterion. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(10):78-87. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_10_0_78.

Введение

В вертикальных стволах действующих рудников эксплуатируются свыше 100 тыс. м технологических трубопроводов различного назначения, которые предназначены для транспортировки сжатого воздуха, воды, рассола, закладочного материала, шламов и других сред.

К комплексу шахтных трубопроводов относятся: плети труб, соединения труб, опорные балки конструкций крепления трубопроводов, опорные стулья, компенсаторы, детали закрепления опор к крепи ствола, запорная арматура. Непосредственно в стволе шахтные трубопроводы жестко закрепляются на металлических опоры (стулья), конструкция и места распределения которых по стволу определяются проектной документацией. Между опорными стульями трубопроводы фиксируются хомутами (скользящими опорами) для ограничения смещения в поперечном направлении.

На сопряжении ствола с горизонтальными выработками устанавливается опорное колено. В этом узле вертикальная часть трубопровода переходит в горизонтальное направление.

В соответствии с назначением шахтных трубопроводы подразделяются на магистральные, обслуживающие группу участков или выработок, и участковые, обслуживающие один участок или одну выработку. Трубопроводные системы являются одними из наиболее распространенных объектов повышенной опасности, и, как правило, более 30% из них эксплуатируются на протяжении длительного срока (свыше 20 лет).

Опыт длительной эксплуатации конструкций крепления трубопроводов показал, что в трубопроводных системах часто возникают деформация и коррозионные разрушения элементов опорных балок, приводящих к недопустимому или аварийному состоянию всего комплекса конструкций трубопроводов.

Методы

Как и все ответственные конструкции, возводимые в шахтных стволах, опорные конструкции крепления трубопроводов рассчитываются на прочность и устойчивость. При этом целью расчета металлических конструкций является строгое обоснование их габаритных размеров, размеров поперечных сечений и их соединений, обеспечивающих необходимую надежность, долговечность и экономичность.

В настоящее время расчет строительных конструкций ведется по методу предельных состояний. Предельные состояния условно подразделяются на две группы. К первой группе предельных состояний (расчет по несущей способности) относятся разрушения любого вида, потеря общей устойчивости конструкции или потеря местной устойчивости отдельного элемента конструкции, а также нарушения узлов и соединений, превращающие конструкцию в геометрически изменяемую систему. Ко второй группе предельных состояний (расчет по деформациям) относят предельные состояния, при которых конструкция становится непригодна к нормальной эксплуатации по деформациям и перемещениям. К ним относятся превышающие нормы прогибы, перемещения и повороты узлов, осадки опор, колебания [1].

Существующая на сегодняшний день нормативная база, регламентирующая требования к расчету конструкций крепления трубопроводов в шахтных стволах, включает в себя «Пособие по проектированию трубопроводов, прокладываемых в подземных выработках (к ВНТП 1-86 «Нормы технологического проектирования угольных и сланцевых шахт») и «СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия». Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85».

Вместе с тем вопрос определения технического состояния опорных балок

крепления шахтных трубопроводов по фактору коррозионного износа в современных нормативных документах, технической литературе и научных трудах раскрыт не полностью. Для решения этого вопроса, необходимо расчетным путем проверить рассматриваемые опорные конструкции (балки) на прочность, устойчивость и вывести контролируемые величины предельного коррозионного износа, соответствующие рассматриваемому техническому состоянию [2 – 4].

Вопрос коррозионного износа особо актуален для опорных конструкций, проектируемых и эксплуатируемых в шахтных стволах калийных рудников. Известно, что неблагоприятные микроклиматические параметры воздушной среды (сезонные колебания температуры и влажности, запыленность воздуха), а также присутствие в шахтных стволах калийных рудников высокоминерализованных рассолов, являются причиной повышенного коррозионного износа как элементов чугунной крепи, так и металлических конструкций, эксплуатируемых в стволе [5].

Вследствие активно развивающихся коррозионных процессов, протекающих на поверхности металлоконструкций изменяются их геометрические характеристики — уменьшается фактическая площадь сечений металлоконструкций, и, как следствие, снижаются фактические прочностные характеристики всей системы металлоконструкций крепления трубопроводов [6 – 8]. Указанное обстоятельство может стать причиной возникновения аварийной ситуации в стволе из-за потери устойчивости опорных конструкций крепления трубопроводов.

Таким образом, вопрос определения критериев предельного состояния металлоконструкций для крепления трубопроводов в шахтных стволах калийных рудников с целью их своевременной за-

мены является весьма актуальной научно-технической задачей [9 – 12].

Определение критериев эксплуатационного состояния конструкций крепления трубопроводов по результатам их длительной эксплуатации в агрессивной среде проводится на основании результатов поверочного расчета конструкций крепления трубопроводов в шахтных стволах. На основании проведенного поверочного расчета определяются контролируемые величины коррозионного износа опорных балок крепления трубопроводов в шахтных стволах, соответствующие техническому состоянию системы конструкций крепления трубопроводов: работоспособное, предельное и аварийное.

Следует подчеркнуть, что поверочный расчет конструкций крепления трубопроводов осуществлялся в соответствии с требованиями СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции», а именно конструкции крепления трубопроводов, рассчитывались как единая пространственная система, с учетом факторов, определяющих их напряженно-деформированное состояние.

Поверочный расчет опорных конструкций крепления трубопроводов в шахтных стволах с учетом коррозионного износа производился по алгоритму, блок-схема которого представлена на рис. 1. Следует отметить, что расчет с учетом фактора коррозионного износа осуществлялся несколько раз (был циклическим)

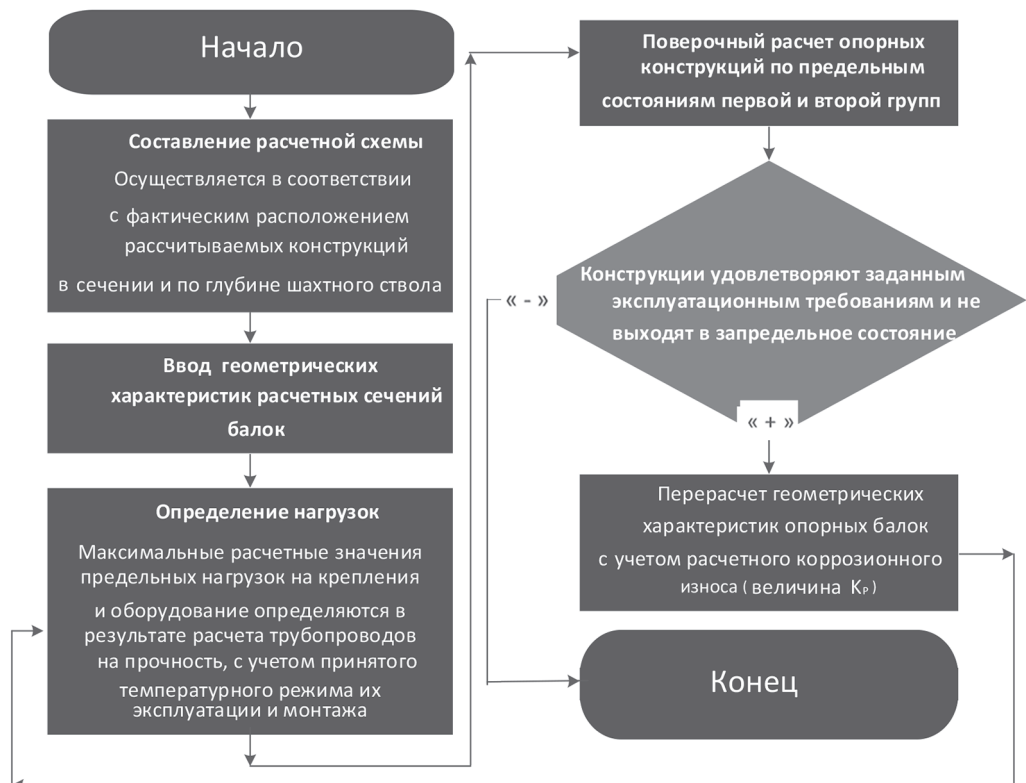


Рис. 1. Алгоритм расчета предельного коррозионного износа опорных балок конструкций крепления трубопроводов

Fig. 1. Calculation algorithm of maximum permissible corrosive wear for support beams of pipeline holding

Таблица 1

Результаты расчета предельного коррозионного износа опорных балок конструкций крепления трубопроводов
Calculation data on maximum permissible corrosive wear for support beam of pipeline holding

Номер шахтного ствола (условный)	Тип рассчитываемых опорных балок	Предельный коррозионный износ, в % от номинальной толщины стенки	Примечание
Ствол № 1	Двутавр № 35Б2	40	При 40% износа не проходит проверку по предельным состояниям II группы
	Швеллер № 24П	60	При 60% износа не проходит проверку по предельным состояниям I группы
	Сварной двутавр	25	При 25% износа не проходит проверку по предельным состояниям I группы
Ствол № 2	Двутавр № 45Б1	10	При 10% износа не проходит проверку по предельным состояниям I и II групп
	Двутавр № 55Б2	10	При 10 % износа не проходит проверку по предельным состояниям I и II групп

[13, 14]. В первом цикле расчета в качестве исходных данных принимались геометрические сечения опорных балок без учета коррозии (проектные сечения балок), во втором — с учетом слоя коррозии величиной k_p , в процентах от номинального сечения опорной балки, в третьем — с учетом слоя коррозии на величину $2k_p$ и т.д. Следует подчеркнуть, что если в одном из циклов расчета хотя бы один из критериев работоспособности опорных балок не выполнялся, циклический расчет прекращался, а принятое в финальном цикле расчета значение коррозионного износа принималось предельным значением износа для опорных балок в шахтном стволе [15]. Поверочный расчет по приведенной выше методике был произведен для нескольких действующих стволов Верхнекамского месторождения солей. При этом в каждом шахтном стволе значительно отличались как схема расположения трубопроводов в сечении ствола, так и шаг расположения опорных балок крепления трубопроводов по глубине шахтного ствола.

Результаты

При проведении расчета, принимая во внимание факт распределения нагрузки от трубопроводов между ярусами опорных балок, было принято решение о приведении в результатах проверки выборочных балок, отобранных по критерию наибольшего момента сопротивления. Выборочные результаты расчета предельного коррозионного износа опорных балок конструкций крепления трубопроводов представлены в табл. 1.

Обсуждение результатов

Как видно из табл. 1, полученные расчетным путем значения предельного коррозионного износа находятся в пределах от 10 до 60% износа от номинальной толщины стенки опорной балки и значительно отличаются в различных шахтных стволах. Кроме того, в результате расчетов были получены достаточно низкие значения предельно допустимого износа. Так, например, полученные низкие значения предельного коррозионного износа в 10% от номинальной толщины стенки опорной бал-

ки (ствол № 2, табл. 1) свидетельствуют о нерациональном проектировании всех конструкций креплений трубопроводов в шахтном стволе, не учитывающем повышенный коррозионный износ в агрессивных условиях эксплуатации шахтных стволов.

Кроме того, проведенный расчет показал, что максимальные напряжения возникают в опорных балках с наибольшим максимальным моментом сопротивления. Это объясняется тем, что часть нагрузки от трубопроводов, приходящаяся на балки с наименьшим максимальным моментом сопротивления, передается через трубопроводы на балки с наибольшим максимальным моментом сопротивления. Данное обстоятельство позволяет утверждать, что при ослаблении сечений опорных балок из-за развития коррозионных процессов основными концентраторами напряжений являются балки с наибольшим максимальным моментом сопротивления [16, 17]. В качестве решения, позволяющего минимизировать риски бесконтрольного распределения нагрузок между опорными балками конструкций крепления трубопроводов, может быть предложен вариант установки компенсаторов различной конструкции.

Заключение

Результаты проведенных поверочных расчетов также могут быть использованы для определения фактического состояния длительно эксплуатируемых

Определение фактического технического состояния опорных конструкций крепления трубопроводов по фактору коррозионного износа

Actual condition detection of support structures of pipeline holding by corrosive wear criterion

Работоспособное техническое состояние	Предельное техническое состояние	Аварийное техническое состояние
$K_{\text{факт}} < K_{\text{доп}}$	$K_{\text{факт}} \leq K_{\text{доп}}$	$K_{\text{факт}} > K_{\text{доп}}$
где $K_{\text{факт}}$ — фактический замеренный коррозионный износ, % от номинального сечения; $K_{\text{доп}}$ — предельно допустимый расчетный коррозионный износ, % от номинального сечения.		

конструкций крепления трубопроводов. В этом случае целесообразно рассмотреть следующий алгоритм действий:

- проведение инструментальных замеров фактической остаточной толщины опорных балок методом ультразвукового неразрушающего контроля. Учитывая неравномерность коррозионного износа как в пределах одной балки крепления, так и балок крепления по глубине шахтного ствола [18], необходимо осуществлять замеры остаточной толщины балок не менее чем в трех сечениях каждой опорной конструкции крепления трубопроводов. В каждом из трех сечений необходимо произвести не менее трех замеров;

- анализ результатов замеров остаточной толщины. Величина потери сечения опорной балки выражается в процентах от начальной толщины. В качестве начальной толщины элемента принимается его размер по номинальным данным, приведенным в проекте или в сортаменте (по ГОСТ, ТУ);

- сопоставление полученных фактических значений остаточных сечений опорных балок с предельными значениями коррозионного износа, полученными в результате поверочного расчета по вышеприведенному алгоритму. После получения фактических остаточных сечений опорных балок, эксплуатируемых в шахтных стволах, необходимо произвести сравнение полученных данных с предельными значениями износа для каждого шахтного ствола. Техническое

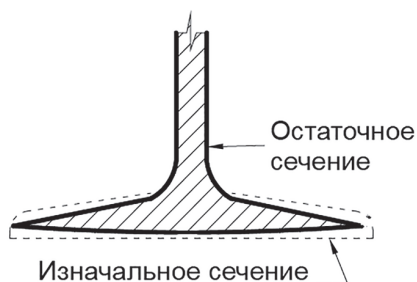


Рис. 2. Построение профиля сечения двутавровой балки при неравномерном коррозионном износе
 Fig. 2. Plotting cross-section profile of H-beam in nonuniform corrosive wear

состояние опорных конструкций крепления трубопроводов определяется на основании сопоставления результатов измерений и величин предельно допустимого коррозионного износа, в соответствии с неравенствами, приведенными в табл. 2.

Как уже было отмечено выше, коррозионный износ каждой опорной конструкции может быть крайне неравномерным. Поэтому при анализе результатов измерений необходимо определять максимальные и минимальные толщины, а также строить профиль остаточного сечения опорной балки в соответствии с полученными фактическими значениями остаточной толщины [19]. Пример построения профиля с учетом износа балки двутавра приведен на рис. 2.

В случае выявления значений фактического износа опорных конструкций,

превышающих предельно допустимые (расчетные) величины износа, необходимо произвести замену данных опорных конструкций. Работы по замене опорных металлоконструкций необходимо производить по отдельно разработанному проекту.

Кроме того, результаты проведенных расчетов показали, что для вновь проектируемых конструкций крепления трубопроводов, устанавливаемых в шахтных стволах калийных рудников, рекомендуется дополнительно учитывать фактор повышенного коррозионного износа [20, 21]. Указанный фактор при расчете позволит осуществить рациональный выбор сечений и схем конструкций крепления трубопроводов (с учетом их плановых замен) для безаварийной эксплуатации в течении расчетного срока службы ствола.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Xihui Jianga, Changdong Liab, Jia-Qing Zhouab, Zihan Zhanga, Wenmin Yaoc, Wenqiang Chena, Hong-Bin Liu Salt-induced structure damage and permeability enhancement of Three Gorges Reservoir sandstone under wetting-drying cycles // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2022, vol. 105, pp. 160–171.
2. Komljenovic Dragana, Loissele Georgesb, Kumral Mustafac Organization: a new focus on mine safety improvement in a complex operational and business environment // International Journal of Mining Science and Technology. 2017, vol. 27, no. 4, pp. 617–625.
3. Brücker Carolina, Preuße Axel The future of underground spatial planning and the resulting potential risks from the point of view of mining subsidence engineering // International Journal of Mining Science and Technology. 2017, vol. 30, no. 1, pp. 93–98.
4. Тарасов В. В., Пестрикова В. С., Иванов О. В., Чистяков А. Н. Влияние микроклиматических параметров воздуха на элементы крепи и армировки в стволах калийного руд-

ника // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. — 2020. — № 2. — С. 174–183.

5. *Тарасов В. В., Пестрикова В. С., Русаков М. И.* Жизненные циклы комплекса сооружений шахтных стволов Верхнекамского месторождения. — Новосибирск: Наука, 2021. — 232 с.

6. *Пестрикова В. С., Тарасов В. В.* О расчете предельно допустимого коррозионного износа балок расстрелов в действующих стволах калийных рудников // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 10. — С. 157–160. DOI: 10.25018/02361493-2017-10-0-157-160.

7. *Лаптев Б. В.* Аварийные ситуации на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей // Безопасность труда в промышленности. — 2009. — № 8. — С. 28–31.

8. *Плешко М. С., Сильченко Ю. А., Панкратенко А. Н., Насонов А. А.* Совершенствование расчетно-экспериментальных методов проектирования шахтных стволов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 12. — С. 55–66. DOI: 10.25018/02361493-2019-12-0-55-66.

9. *Waltona G., Kima E., Sinhaa S., Sturgisb G., Berberickb D.* Investigation of shaft stability and anisotropic deformation in a deep shaft in Idaho, United States // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2018, vol. 105, pp. 160–171.

10. *Yang Yua, Ka-zhong, Denga Yi, Luob Shen-en Chenc, Hui-fu Zhuanga* An improved method for long-term stability evaluation of strip mining and pillar design // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2018, vol. 107, pp. 25–30.

11. *Федотов С. Д., Улыбин А. В., Шабров Н. Н.* О методике определения коррозионного износа стальных конструкций // Инженерно-строительный журнал. — 2013. — № 1. — С. 12–20. DOI: 10.5862/MCE.36.2.

12. *Мясков А. В.* Современные эколого-экономические проблемы недропользования // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 2. — С. 157–160.

13. *Гадолина И. В., Побегайло П. А., Крицкий Д. Ю., Любиша П.* Уточнение инженерной методики оценки скорости износа элементов рабочих органов экскаваторов // Надежность. — 2019. — Т. 19. — № 1(68). — С. 18–23. DOI: 10.21683/1729-2646-2019-19-118-23.

14. *Гончаров А. Б., Тулинов А. Б., Перепечай Б. А.* Стратегия технического обслуживания и ремонта горного оборудования с целью обеспечения его надежности // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — № 11. — С. 70–79.

15. *Тюрин С. И.* Повышение эффективности эксплуатации горного оборудования за счет внедрения новых технологий ремонта // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — № 5. — С. 136–148.

16. *Куликова Е. Ю., Конюхов Д. С.* Мониторинг риска аварий при освоении подземного пространства // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 1. — С. 97–103. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_1_0_97.

17. *Суханов Д. А.* Поиски риска. Некоторые аспекты оценки риска производственных объектов в системе управления промышленной безопасностью и охраной труда // Безопасность и охрана труда. — 2016. — № 1. — С. 17–23.

18. *Самигуллин Г. Х., Лягова А. А.* Методика оценки степени опасности трещиноподобных дефектов в металлических конструкциях // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — № 2. — С. 99–106.

19. *Болотин В. В.* Прогнозирование ресурса машин и конструкций. — М.: Машиностроение, 1984. — 312 с.

20. *Белозеров В. В., Кузеев И. Р., Наумкин Е. А.* Оценка критического коэффициента интенсивности напряжений с помощью компактных образцов / Проблемы строительного комплекса России. Материалы X международной научно-технической конференции при X Международной специализированной выставке «Строительство. Коммунальное хозяйство-2006». — Уфа, 2006. — С. 165–166. **ИДБ**

REFERENCES

1. Xihui Jianga, Changdong Liab, Jia-Qing Zhouab, Zihan Zhanga, WenminYaoc, Wenqiang Chena, Hong-BinLiu Salt-induced structure damage and permeability enhancement of Three Gorges Reservoir sandstone under wetting-drying cycles. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2022, vol. 105, pp. 160 – 171.
2. Komljenovic Dragana, Loisselle Georgesb, Kumral Mustafac Organization: a new focus on mine safety improvement in a complex operational and business environment. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2017, vol. 27, no. 4, pp. 617 – 625.
3. Brücker Carolina, Preuße Axel The future of underground spatial planning and the resulting potential risks from the point of view of mining subsidence engineering. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2017, vol. 30, no. 1, pp. 93 – 98.
4. Tarasov V. V., Pestrikova V. S., Ivanov O. V., Chistyakov A. N. Influence of microclimatic air parameters on the elements of support and reinforcement in the shafts of the potash mine. *Izvestiya Tula State University. Sciences of Earth*. 2020, no. 2, pp. 174 – 183. [In Russ].
5. Tarasov V. V., Pestrikova V.S, Rusakov M. I. *Zhiznennye tsikly kompleksa sooruzheniy shakhtnykh stvolov Verkhnekamskogo mestorozhdeniya* [Life cycles of the Verkhnekamskoye deposit shaft facilities], Novosibirsk, Nauka, 2021, 232 p.
6. Pestrikova V. S., Tarasov V. V. Calculating maximum permissible corrosive wear of but-ton beams in operating shafts in potassium mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017, no. 10, pp. 157 – 160. [In Russ]. DOI: 10.25018/02361493-2017-10-0-157-160.
7. Laptev B. V. Accidents at Verkhnekamskoe potash-magnesium salt deposit. *Occupational Safety in Industry*. 2009, no. 8, pp. 28 – 31. [In Russ].
8. Pleshko M. S., Sil'chenko Yu. A., Pankratenko A. N., Nasonov A. A. Improvement of the analysis and calculation methods of mine shaft design. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 12, pp. 55 – 66. [In Russ]. DOI: 10.25018/02361493-2019-12-0-55-66.
9. Waltona G., Kima E., Sinhaa S., Sturgisb G., Berberickb D. Investigation of shaft stability and anisotropic deformation in a deep shaft in Idaho, United States. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2018, vol. 105, pp. 160 – 171.
10. Yang Yua, Ka-zhong, Denga Yi, Luob Shen-en Chenc, Hui-fu Zhuanga An improved method for long-term stability evaluation of strip mining and pillar design. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2018, vol. 107, pp. 25 – 30.
11. Fedotov S. D., Ulybin A. V., Shabrov N. N. On the method of determining the corrosion wear of steel structures. *Magazine of civil engineering*. 2013, no. 1, pp. 12 – 20. [In Russ]. DOI: 10.5862/MCE.36.2.
12. Myaskov A. V. Current environmental and economic problems of subsoil use. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2014, no. 2, pp. 157 – 160. [In Russ].
13. Gadolina I. V., Pobegailo P. A., Kritskiy D.Yu., Lyubisha P. Specifying the engineering methodology for estimating the wear rate of excavator working body elements. *Nadezhnost'*. 2019, vol. 19, no. 1(68), pp. 18 – 23. [In Russ]. DOI: 10.21683/1729-2646-2019-19-118-23.
14. Goncharov A. B., Tulinov A. B., Perepechai B. A. Strategy of maintenance and repair of mining equipment in order to ensure its reliability. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2016, no. 11, pp. 70 – 79. [In Russ].
15. Tyurin S. I. Improving the efficiency of mining equipment operation through the introduction of new repair. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2016, no. 5, pp. 136 – 148. [In Russ].
16. Kulikova E. Yu., Konyukhov D. S. Accident risk monitoring in underground space development. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 1, pp. 97 – 103. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_1_0_97.
17. Sukhanov D. A. Risk searching. Some aspects of risk assessment of production facilities in the system of industrial safety and labor protection management. *Bezopasnost' i okhrana truda*. 2016, no. 1, pp. 17 – 23. [In Russ].

18. Samigullin G. H., Lyadova A. A. Methodology for assessing the degree of danger of crack-like defects in metal structure. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2016, no. 2, pp. 99–106. [In Russ].

19. Bolotin V. V. *Prognozirovanie resursa mashin i konstruktsiy* [Forecasting the resource of machines and structures], Moscow, Mashinostroenie, 1984, 312 p.

20. Belozеров V. V., Kuzeev I. R., Naumkin E. A. Evaluation of the critical stress intensity coefficient using compact samples. *Problemy stroitel'nogo kompleksa Rossii. Materialy X mezh-dunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii pri X Mezhdunarodnoy spetsializirovannoy vy-stavke «Stroitel'stvo. Kommunal'noe khozyaystvo-2006»* [Problems of the construction complex of Russia. Materials of the X International Scientific and Technical Conference at the X International Specialized Exhibition «Construction. Communal services-2006»], Ufa, 2006, pp. 165–166. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Пестрикова Варвара Сергеевна*¹ — канд. техн. наук,
ведущий научный сотрудник,

e-mail: Varvara.Pestrikova@uralkali.com,

ORCID ID: 0000-0002-6599-0493,

*Тарасов Владислав Викторович*¹ — канд. техн. наук,
зав. лабораторией,

e-mail: Vladislav.Tarasov@uralkali.com,

ORCID ID: 0000-0002-3431-7028,

*Иванов Олег Викторович*¹ — ведущий инженер,

e-mail: Oleg.Ivanov2@uralkali.com,

ORCID ID: 0000-0001-6566-4375,

¹ АО «ВНИИ Галургии».

Для контактов: Пестрикова В.С., e-mail: Varvara.Pestrikova@uralkali.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*V.S. Pestrikova*¹, Cand. Sci. (Eng.),

Leading Researcher,

e-mail: Varvara.Pestrikova@uralkali.com,

ORCID ID: 0000-0002-6599-0493,

*V.V. Tarasov*¹, Cand. Sci. (Eng.),

Head of Laboratory,

e-mail: Vladislav.Tarasov@uralkali.com,

ORCID ID: 0000-0002-3431-7028,

*O.V. Ivanov*¹, Leading Engineer,

e-mail: Oleg.Ivanov2@uralkali.com,

ORCID ID: 0000-0001-6566-4375,

¹ Joint Stock Company VNII Galurgii,
614002, Perm, Russia.

Corresponding author: V.S. Pestrikova, e-mail: Varvara.Pestrikova@uralkali.com.

Получена редакцией 01.03.2022; получена после рецензии 10.08.2022; принята к печати 10.09.2022.

Received by the editors 01.03.2022; received after the review 10.08.2022; accepted for printing 10.09.2022.

