

ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ И ВЫСОТЫ ВЫРАБОТКИ НА ПРОЯВЛЕНИЯ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В КАЛИЙНЫХ РУДНИКАХ

Т.В. Злобина

Горный институт Уральского отделения РАН, Пермь, Россия, e-mail: tati.verkholantseva@gmail.com

Аннотация: Разработка крупнейшего в РФ Верхнекамского месторождения калийных солей связана со множеством негативных процессов, иногда имеющих катастрофические последствия. Одним из индикаторов интенсивности развития опасных деформационных процессов, позволяющим следить за ними практически в реальном времени, является микросейсмическая активность. Сейсмологический мониторинг на рудниках Верхнекамского месторождения калийных солей начался в 1995 г. и осуществляется по настоящее время. Многолетние наблюдения показывают, что пространственно-временные изменения сейсмической активности имеют тесную связь с используемыми горнотехническими параметрами отработки. Одним из основных горнотехнических параметров является размер камеры (ширина и высота), которые выбираются исходя из горно-геологических условий и технологических возможностей применяемого оборудования. Изучение влияния ширины камеры на микросейсмическую активность показало низкую корреляцию этих двух параметров (в среднем $\approx 0,5$), если рассматривать все сейсмические события, произошедшие на руднике. Однако геометрические параметры камеры оказывают влияние на пределы возможной энергии сейсмических событий типа «обрушение». Для таких сейсмических событий была выявлена прямая линейная зависимость максимальной моментной магнитуды от геометрических параметров камеры. Таким образом, зная заранее ширину и высоту выработок и планы горных работ, можно заранее оценить максимально возможную магнитуду будущих сейсмических событий-обрушений.

Ключевые слова: калийный рудник, система отработки, ширина и высота камеры, сейсмологический мониторинг, сейсмические события, обрушения, микросейсмическая активность.

Для цитирования: Злобина Т. В. Влияние ширины и высоты выработки на проявления микросейсмической активности в калийных рудниках // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 8. – С. 136–145. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-08-0-136-145.

Influence of width and height of rooms on microseismic activity in potash mines

T.V. Zlobina

Mining Institute of Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Perm, Russia,
e-mail: tati.verkholantseva@gmail.com

Abstract: Mining of Russia's largest Upper Kama potash salt reserves is associated with plenty of adverse events with disastrous effects sometimes. One of the hazardous deformation rate indicators effective for nearly real-time deformation monitoring is microseismicity. For instance, seismological monitoring of the Upper Kama potash salt mines was launched in 1995 and is being continued up to this date. The long-term observations show that variations in seismic activity in space and time are closely connected with geotechnical parameters of mines. One of the key geotechnical parameters is the size of rooms (width and height) to be selected based on geological conditions

© Т.В. Злобина. 2019.

of mining and capacities of equipment. The study of the room width effect on microseismic activity reveals a low correlation of these two parameters (on average ≈ 0.5) in terms of all seismic events within a mine. At the same time, the geometrical parameters of rooms have influence on possible energy ranges of the rockfall-type seismic events. In the latter case, a linear relation is found between the maximum moment magnitude and the room geometry. Thus, with the a priori known width and height of rooms as well as mine layouts, it is possible to assess beforehand the maximum possible magnitude of future seismic events of the rockfall type.

Key words: potash mine, mining systems, room width and height, seismological monitoring, seismic events, rockfall, microseismic activity.

For citation: Zlobina T. V. Influence of width and height of rooms on microseismic activity in potash mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(8):136-145. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-08-0-136-145.

Введение

Разработка месторождений полезных ископаемых приводит к изменению в структуре горного массива и к росту уровня сейсмической активности. В результате современных геодинамических процессов и интенсивной техногенной деятельности происходят различные разрушения в массиве горных пород, горно-тектонические удары, а также провалы на земной поверхности. Так, например, 13.03.1989 произошло техногенное землетрясение с магнитудой 5,4 на калийном руднике Эрнст Тельман месторождения Верра (Германия). Последствием такого события стало разрушение камер и системы целиков на глубине 800 м, на поверхности было повреждено 80% зданий на площади 6 км² [1]. Крупное сейсмическое событие с локальной магнитудой 5,1 произошло на руднике Солвей, расположенном в штате Вайоминг (США) [2]. Другим примером служит обвал в шахте Crandall Canyon штата Юта (США), произошедший 6 августа 2007 г. с $M_w = 4,1$, в результате которого шесть шахтеров оказались заблокированы на глубине 600 м под землей [3]. 19 марта 2013 г. произошло землетрясение с магнитудой $M_w = 4,2$ в медной шахте Рудна, Польша, в следствие которого 19 чел. оставались в шахте до прибытия спасательной группы [4]. Надежным и общепризнанным инструментом для об-

нарушения и изучения процессов разрушения в подработанном массиве является метод сейсмического мониторинга [5–9].

Верхнекамское месторождение калийных солей (ВКМКС) является крупнейшим месторождением солей в Российской Федерации, разработка месторождения ведется с 1934 г. Несмотря на то, что рудники ВКМКС не являются удароопасными, они, как и другие горнодобывающие объекты, подвержены интенсивным деформационным процессам, иногда имеющим катастрофические последствия и влияющим на саму возможность дальнейшей разработки месторождения. Сейсмологический мониторинг как метод выявления и оценки интенсивности таких процессов весьма эффективен и применяется в настоящее время на всех действующих и некоторых закрытых рудниках Верхнекамского месторождения [10–13]. Более чем двадцатилетний период наблюдений дает огромное количество разнородной информации о сейсмичности территории, о пространственно-временных закономерностях ее распределения, о деформационных процессах подработанного массива горных пород [14–15].

Верхнекамское месторождение калийных солей обрабатывается камерной системой отработки. Ее параметры изменяются в больших пределах. Так, дли-

на камеры составляет 150–190 м и является наиболее постоянным параметром. Ширина камеры, зависящая от горно-геологических условий отработки и ширины исполнительного органа применяемого комбайна, может изменяться от 3 до 16 м. При этом очистные камеры могут быть как одноходовыми, так и многоходовыми (с наложением ходов комбайна или с оставлением междуходового целика). Ширина междуходового целика в среднем составляет 1 м. Высота камеры также изменяется в широких пределах, определяется рядом технологических особенностей проходки очистных выработок и мощностью продуктивного пласта. Ширина междукамерных целиков определяется расчетным путем согласно нормативным документам, может составлять 3–20 м. При двух- и трехпластовой отработки междукамерные целики имеют соосное расположение [16–17]. Параметры очистных камер являются важными характеристиками разработки месторождения, поскольку позволяют регулировать устойчивость выработок на месторождении.

Методы и результаты

В работе [17] показано, что при ширине выработки, равной 16 м, возможны интенсивные разрушения, такие, как образование трещин сдвига и отрыва, расслоение глинистых контактов. Величина ширины камеры устанавливается исходя из горно-геологических условий отработки месторождений. Данный параметр может варьировать нагрузку на вышележащие толщи горных пород. Поэтому возникает вопрос о рассмотрении взаимосвязи ширины камеры и зарегистрированной микросейсмической активности на калийных рудниках Верхнекамского месторождения.

Первоначально при изучении данной взаимосвязи была применена методика, представленная в работах [14–15],

при этом учитывались все сейсмические события, зарегистрированные с 2000 по 2014 г. на рудниках ВКМКС. Данная методика основана на ГИС-проекте и пространственном анализе данных. Для статистического анализа данных был применен инструмент Зональная статистика, который рассчитывает статистические параметры для каждой зоны на основе другого набора растровых данных. Горнотехнические параметры отработки были взяты в качестве исходных зон, непрерывные карты плотности выделения сейсмической энергии (E_s) — в качестве растра значений. При этом рассчитывалось среднее значение E_s для каждой камеры, предварительно ей присваивался идентификационный номер. Расчеты проводились для Первого Соликамского рудника (СКРУ-1) и Второго Соликамского рудника (СКРУ-2). Таким образом, для каждой камеры рассчитывался набор данных: ID, год отработки, год и тип закладки, ширина камеры и параметр E_s для каждого года с 2000 по 2014. Также необходимо отметить, что участки с одно-, двух- и трехпластовой отработкой рассматривались отдельно. В анализе принимались в расчет данные тех камер, где не выполнялись закладочные работы. На участках с двух- и трехпластовой отработкой использовались данные, попадающие во временной интервал, начиная с года отработки 1-го пласта, заканчивая датой начала закладочных работ. Ширина камеры в этом случае бралась максимальная. Для сопоставления данных с разновозрастных выработок в параметры сейсмичности вводилась поправка на возраст выработок согласно зависимостям, выявленным ранее в [15]. При этом каждое значение параметра сейсмической активности было пересчитано на дату его ожидаемого максимального уровня по формуле:

$$E_{Sed} = \frac{E_s(t)}{U(t)}, \text{ при } t > 0 \quad (1)$$

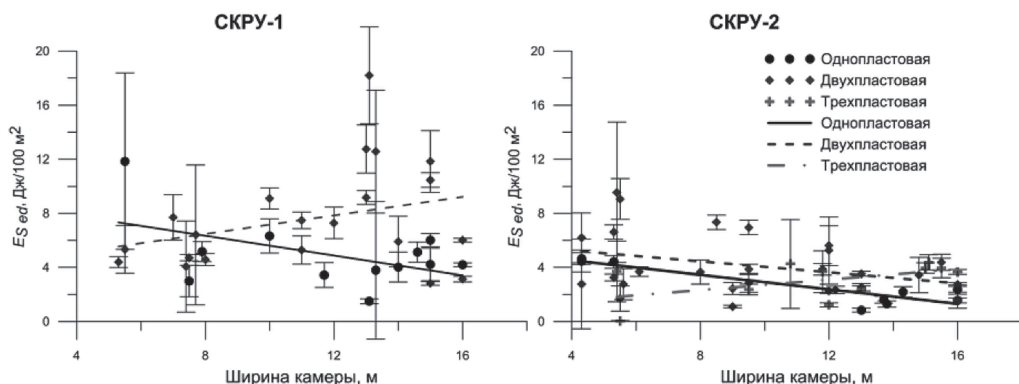


Рис. 1. Зависимость средней плотности выделения сейсмической энергии от ширины камеры за временной период от начала отработки до начала закладки

Fig. 1. Relation between the average density of seismic energy and width of chamber during the time period from the start of mining to the start of backfilling

где E_{sed} — скорректированный параметр сейсмической активности; $E_s(t)$ — значение средней плотности выделения энергии в выработке возраста t ; $U(t)$ — зависимость плотности выделения сейсмической энергии от возраста горных выработок, нормированная на диапазон от 0 до 1, полученная в [12]; t — время действия фактора в годах.

Результаты расчета, аппроксимационные кривые и доверительные интервалы для одно-, двух- и трехпластовой отработки представлены на рис. 1. При анализе данных графиков можно отметить, что до-

верительные интервалы достигают значительных величин. Коэффициент корреляции Пирсона (r) для полученных зависимостей изменяется от 0,31 до 0,52, за исключением графика для однопластовой отработки рудника СКРУ-2 ($r = 0,90$) (табл. 1). Исходя из полученных результатов, можно предположить, что при меньшей ширине камеры наблюдается повышенное значение энергии сейсмических событий. О незначительном влиянии ширины камеры на проявление микросейсмической активности также указывают низкие коэффициента корреляции.

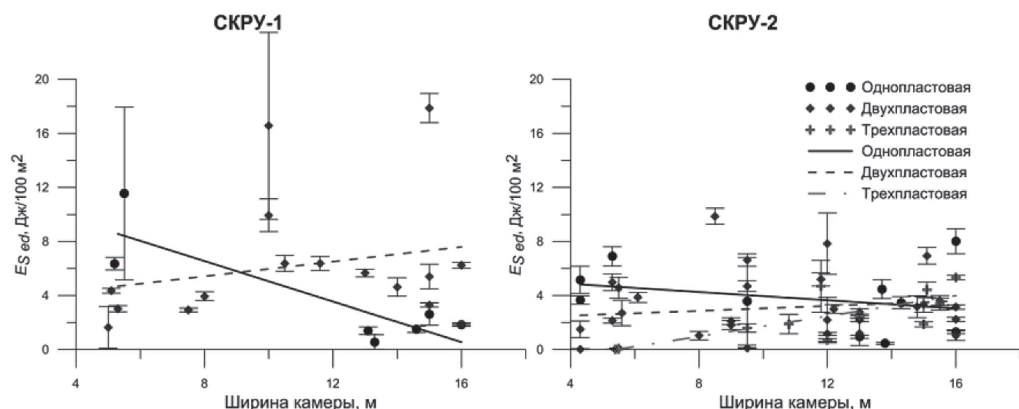


Рис. 2. Зависимость средней плотности выделения сейсмической энергии от ширины камеры за временной период от начала закладки в течение 15 лет

Fig. 2. Relation between the average density of seismic energy and width of chamber during 15 years from the beginning of the backfilling

Таблица 1

Коэффициенты взаимной корреляции (r) для полученных зависимостей
Pearson correlation coefficients (r) between the average density of seismic energy
and width of chamber

Отработка	СКРУ-1		СКРУ-2	
	до закладки	после закладки	до закладки	после закладки
однопластовая	0,49	0,86	0,90	0,29
двухпластовая	0,31	0,23	0,34	0,15
трехпластовая	—	—	0,52	0,77

В дополнение были построены графики связи средней плотности выделения сейсмической энергии от ширины камеры после проведения закладочных работ. Согласно работе [14] закладка начинает действовать через 15–20 лет после ее проведения. При этом в течение данного времени нет различий во влиянии типа закладочного материала (графики для сухой и гидравлической закладки на этом временном интервале горизонтальны). В связи с этим были посчитаны для одно-, двух- и трехпластовой отработки зависимости ширины камеры от E_s ed за временной период в течение 15 лет после проведения закладочных работ (рис. 2). Сравнивая рис. 1 и рис. 2, необходимо отметить их

схожесть, за исключением зависимости при двухпластовой отработке на Втором Соликамском руднике. Коэффициенты корреляции равны 0,15–0,86 (табл. 1), доверительные интервалы для Первого Соликамского рудника достигают значительных величин.

Анализ полученных результаты с использованием всех сейсмических событий, зарегистрированных с 2000 по 2014 гг., показывает незначительную корреляцию двух параметров (ширины камеры и скорректированного параметра сейсмичности), которая подтверждается небольшими значениями коэффициента корреляции ($r < 0,7$) и значительной величиной доверительных интервалов. Можно сделать предположение, что неустойчивая корреляция для одно-, двух- и трехпластовой отработки связана с перераспределением нагрузки и напряженно-деформированного состояния вышележащей толщи пород при различной ширине камеры.

Стоит отметить, что системами сейсмомониторинга на Верхнекамском месторождении регистрируются различные типы событий. Согласно [18] в горных выработках возможны различные типы механизмов сейсмических событий: хрупкое разрушение целика, локальное обрушение пород кровли, динамическое разрушение пород кровли или почвы выработки (рис. 3).

Исследование механизмов сейсмических событий на калийных рудниках ВКМКС позволило установить, что наибо-

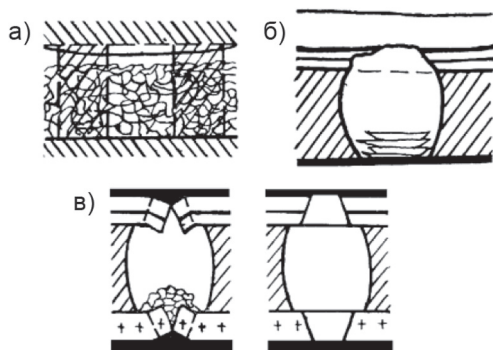


Рис. 3. Динамические процессы, отмечаемые в калийных рудниках: хрупкое разрушение целика (а); локальное обрушение пород кровли (б); динамическое разрушение пород кровли или почвы выработки (в) [15]

Fig. 3. Dynamic processes noted in the potash mines: a – brittle destruction of pillar; b – local collapse of roof rocks; c – dynamic destruction of roof rocks or soil chamber [15]

Таблица 2

Сведения о представительности данных
Information of representatively data

Пласт	Количество событий	Минимальная энергия, Дж	Максимальная энергия, Дж	Минимальная ширина, м	Максимальная ширина, м	Минимальная высота, м	Максимальная высота, м
Нет данных	52	327,0	7115,6				
КрII	17	622,7	5133,2	5,2	16,0	2,8	7,6
АБ	7	761,1	3858,9	4,0	16,0	3,9	9,2
КрII+АБ	134	289,3	8184,6	5,1	16,0	5,0	16,8
Вс	7	729,4	4558,6	4,3	13,7	4,4	5,8
КрII+Вс	6	483,3	3386,7	16,0	16,0	10,8	14,5
АБ+Вс	26	234,5	4534,3	5,3	15,0	4,9	11,4
КрII+АБ+Вс	44	190,6	6240,8	11,8	18,0	4,3	18,5
Кр2+Вк	19	376,0	7124,2	8,0	16,0	7,9	18,3
КрII+АБ+Вк	5	636,9	5202,6	15,0	15,0	19,6	21,0

лее вероятным очаговым процессом сильных сейсмических событий в калийных рудниках является обрушение кровли выработок [19]. В 2010—2014 гг. была произведена работа по разделению различных типов событий на рудниках ВКМКС. Всего за этот период было зарегистрировано более 3000 событий.

С помощью специализированной программы, разработанной в лаборатории природной и техногенной сейсмичности «ГИ УрО РАН», основанной на моделировании сейсмограмм и инверсии регист-

рируемых волновых форм [16], были выделены 317 событий, являющихся обрушениями. Для каждого из них были найдены характеристики сосредоточенной силы (амплитуда и фазы компонент F_x , F_y и F_z), а также тензоры сейсмического момента (амплитуд и фаз компонент M_{xx} , M_{xy} , M_{xz} , M_{yy} , M_{yz} и M_{zz}). Можно ожидать, что максимальный объем обрушений пород кровли связан с параметрами самой камеры, а именно с ее шириной и высотой. Поэтому для дальнейшего изучения влияния геометрических

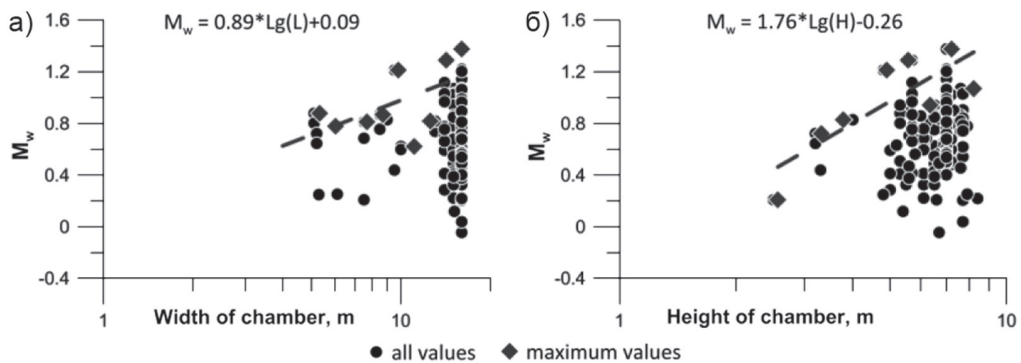


Рис. 4. Зависимость моментной магнитуды от размеров камеры: от максимальной ширины (а); от максимальной высоты (б)

Fig. 4. Relation between moment magnitude and the chamber's geometric parameters: a—from maximum width; b—from maximum height

параметров очистной камеры на проявление микросейсмической активности были взяты только события-обрушения. Для таких событий были найдены параметры очистной выработки (высота и ширина). Необходимо учитывать, что на одной территории возможна совместная отработка нескольких пластов, причем возможности сейсмической сети, установленной на рудниках ВКМКС, не позволяют привязать очаги к какому-то конкретному горизонту. В связи с этим при двух- и трехпластовой отработке брались максимальные значения ширины камеры и высоты. Также для анализа использовались максимальные величины моментной магнитуды событий в каждом представленном поддиапазоне данных, так как максимальная моментная магнитуда соответствует максимальному объему возможного обрушения.

В табл. 2 представлена информация о количестве данных для разных сочетаний разрабатываемых пластов, а также диапазон изучаемых величин. Для изучения связи магнитуды с размерами камеры было выбрано сочетание пластов КрII+АБ (42% от общего числа). Результаты анализа такой связи представлены на рис. 4.

Весь объем представленных данных затрудняет выделение какой-либо однозначной связи между анализируемыми величинами, поскольку разброс по магнитуде для камер с одинаковыми размерами слишком широк. Однако при таком анализе важно сравнивать с размером камеры не все возможные в данных условиях сейсмические события, а только те из них, которые имеют наибольшую силу, так как именно максимальная энергия обрушений может быть ограничена размером выработки, тогда как ее нижний предел ограничен лишь регистрационными возможностями сети. Анализ распределения максимальных магнитуд показывает, что между ними и логарифмом

размера выработок (как по ширине, так и по высоте) прослеживается прямая линейная связь. Стоит отметить, что аналогичная линейная зависимость ранее была получена в работе [20]. В ней был проведен анализ параметров 24 аварийных ситуаций за период с 1916 по 2014 гг., которые связаны с формированием очагов обвального типа на различных месторождениях мира. В данной работе теоретически было показано, что магнитуда события-обрушения связана с логарифмом размера очага соотношением: $M \approx 3 \lg(L) + const$, что полностью подтверждалось эмпирическими данными в диапазоне магнитуд от -2 до 5. Полученные в данной работе коэффициенты наклона аппроксимирующих зависимостей несколько отличаются: 0,89 — для связи магнитуды с шириной камеры и 1,76 — для связи магнитуды с высотой камеры. Различие в коэффициентах наклона, вероятно, связано с ограничениями в диапазонах рассматриваемых величин, которые позволили выявить только локальный характер данных зависимостей.

Заключение

Таким образом, полученные результаты с использованием всех зарегистрированных сейсмических событий свидетельствуют о неустойчивой корреляции геометрических параметров камеры и сейсмической активности для всех видов отработки, что подтверждается большим разбросом исходных величин, небольшими наклонами графиков и низкими значениями коэффициентов корреляции. Однако если при расчете использовать только события-обрушения, обнаруживается четкая линейная связь максимальной моментной магнитуды сейсмических событий с геометрическими параметрами камеры.

Таким образом, зная ширину и высоту выработок и планы горных работ,

можно заранее оценить максимально-возможную магнитуду будущих сейсмических событий-обрушений.

Автор выражает благодарность Дягилеву Руслану Андреевичу за ценные советы при проведении исследования, за

постоянную поддержку, внимание и помощь в работе, также автор признателен сотрудникам лаборатории природной и техногенной сейсмичности и лаборатории физических процессов освоения георесурсов «ГИ УрО РАН».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адушкин В. В., Турунтаев С. Б. Техногенная сейсмичность — индуцированная и триггерная. — М.: ИДГ РАН, 2015. — 364 с.

2. Pechmann J. C., Walter W. R., Nava S. J., Arabasz W. J. The February 3, 1995, ML 5.1 seismic event in the trona mining district of southwestern Wyoming // *Seismological Research Letters*, 1995, no 66 (3), pp. 25–34. DOI: 10.1785/gssrl.66.3.25.

3. Kubacki T., Koper K. D., Pankow K. L., McCarter M. K. Changes in mining-induced seismicity before and after the 2007 Crandall Canyon Mine collapse // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 2014, no 119 (6), pp. 4876–4889. DOI: 10.1002/2014JB011037.

4. Rudzinski Ł., Cesca S., Lizurek G. Complex rupture process of the 19 March 2013, Rudna mine (Poland) induced seismic event and collapse in the light of local and regional moment tensor inversion // *Seismological Research Letters*, 2016, Vol. 87(2A), pp. 274–284. DOI: 10.1785/0220150150.

5. Герман В. И. Прогноз обрушений на рудниках по данным сейсмического мониторинга // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. — 2014. — № 2. — С. 99–109.

6. Жукова С. А., Самсонов А. В. Оценка влияния природных факторов на проявление сейсмичности Хибинского массива // *Горный журнал*. — 2014. — № 10. — С. 47–51.

7. Jian-po L., Yuan-hui L., Shi-da X. Relationship between microseismic activities and mining parameters during deep mining process // *Journal of Applied Geophysics*, 2018, Vol. 159, pp. 814–823. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2018.10.018.

8. Zhao Y., Yang T., Zhang P., Zhou J., Yu Q. Numerical simulation of rock damage process based on microseismic parameters // *Journal of Mining and Safety Engineering*, 2018, Vol. 35 (1), pp. 213–220. DOI: 10.13545/j.cnki.jmse.2018.01.029.

9. De Santis F., Contrucci I., Kinscher J., Bernard P., Renaud V., Gunzburger Y. Impact of Geological Heterogeneities on Induced-Seismicity in a Deep Sublevel Stopping Mine // *Pure and Applied Geophysics*, 2019, Vol. 176 (2), pp. 697–717. DOI: 10.1007/s00024-018-2020-9.

10. Маловичко А. А., Дягилев Р. А., Маловичко Д. А. Сейсмологический мониторинг на рудниках Верхнекамского месторождения калийных солей // *Горный журнал*. — 2008. — № 10. — С. 25–29.

11. Дягилев Р. А., Шулаков Д. Ю., Верхоланцев А. В., Глебов С. В. Мониторинг сейсмических процессов в калийных рудниках: результаты наблюдения и перспективы развития // *Горный журнал*. — 2013. — № 6. — С. 50–54.

12. Shulakov D. Y., Verkholantseva T. V. Relation between microseismic activity and parameters of mining in the Verkhnekamskoye potash deposit // 8th Int. Symp. On Rockbursts and Seismicity in Mines (eds. Malovichko, A. and Malovichko, D.), *Geophysical Survey of Russian Academy of Science and Mining Institute of Ural Branch of Russian Academy of Science, Obninsk-Perm*, 2013, pp. 505–510.

13. Malovichko A., Malovichko D., Shulakov D., Dyagilev R. Multi scale seismicity at potash mines. main results of the long-term seismic monitoring at Verkhnekamskoye deposit // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 2015, Vol. 3(1), pp. 485–492.

14. Верхоланцева Т. В., Дягилев Р. А. Изучение влияния закладочных работ на сейсмический режим калийных рудников // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2016. — № 12. — С. 115–123.

15. Верхоланцева Т. В., Дягилев Р. А. Применение ГИС-технологий для изучения влияния горнотехнических параметров на сейсмический режим калийных рудников // *Проблемы недропользования*. — 2016. — № 2 (9). — С. 19–25.

16. Методическое руководство по ведению горных работ на калийных рудниках ОАО «Сильвинит» / ОАО «Галургия». — Новосибирск: Наука, 2011. — 487 с.
17. Ломакин И. С. Деформирование и разрушение несущих элементов камерной системы разработки в условиях слоисто-неоднородного строения породного массива. Дис. ...канд. тех. наук. — Пермь: ГИ УрО РАН, 2015. — 197 с.
18. Долгов П. В., Полянина Г. Д., Земсков А. Н. Методы прогноза и предотвращения газодинамических явлений в калийных рудниках. — Алма-Ата: Наука, 1987. — 176 с.
19. Шулаков Д. Ю., Маловичко Д. А., Верхоланцева Т. В. Изучение механизмов сейсмических событий на Верхнекамском месторождении калийных солей / Вестник молодых ученых ПГНИУ: сборник научных трудов: в 2 т. / Отв. ред. Е.Н. Батурин. — Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т, 2011. — С. 94—102.
20. Дягилев Р. А. Определение M_{\max} обвальных землетрясений в районах распространения техногенного карста / Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XIII Международной сейсмологической школы — Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. — С. 95—98. **ПИАБ**

REFERENCES

1. Adushkin V.V., Turuntaev S.B. *Tekhnogennaya seysmichnost' — indutsirovannaya i trigger-naya* [Technogenic seismicity — induced and trigger], Moscow, IDG RAN, 2015, 364 p.
2. Pechmann J.C., Walter W.R., Nava S.J., Arabasz W.J. The February 3, 1995, ML 5.1 seismic event in the trona mining district of southwestern Wyoming. *Seismological Research Letters*, 1995, no 66 (3), pp. 25—34. DOI: 10.1785/gssrl.66.3.25.
3. Kubacki T., Koper K.D., Pankow K.L., McCarter M.K. Changes in mining-induced seismicity before and after the 2007 Crandall Canyon Mine collapse. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 2014, no 119 (6), pp. 4876—4889. DOI: 10.1002/2014JB011037.
4. Rudzinski Ł., Cesca S., Lizurek G. Complex rupture process of the 19 March 2013, Rudna mine (Poland) induced seismic event and collapse in the light of local and regional moment tensor inversion. *Seismological Research Letters*, 2016, Vol. 87(2A), pp. 274—284. DOI: 10.1785/0220150150.
5. German V.I. Rock failure prediction in mines by seismic monitoring data. *Fiziko-tekhnic-eskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2014, no 2, pp. 99—109. [In Russ].
6. Zhukova S.A., Samsonov A.V. Assessment of natural impact on the seismicity in Khibiny Mountains. *Gornyy zhurnal*. 2014, no 10, pp. 47—51. [In Russ].
7. Jian-po L., Yuan-hui L., Shi-da X. Relationship between microseismic activities and mining parameters during deep mining process. *Journal of Applied Geophysics*, 2018, Vol. 159, pp. 814—823. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2018.10.018.
8. Zhao Y., Yang T., Zhang P., Zhou J., Yu Q. Numerical simulation of rock damage process based on microseismic parameters. *Journal of Mining and Safety Engineering*, 2018, Vol. 35 (1), pp. 213—220. DOI: 10.13545/j.cnki.jmse.2018.01.029.
9. De Santis F., Contrucci I., Kinscher J., Bernard P., Renaud V., Gunzburger Y. Impact of Geological Heterogeneities on Induced-Seismicity in a Deep Sublevel Stopping Mine. *Pure and Applied Geophysics*, 2019, Vol. 176 (2), pp. 697—717. DOI: 10.1007/s00024-018-2020-9.
10. Malovichko A. A., Dyagilev R. A., Malovichko D. A. Seismological monitoring at the mines of Verkhnekamskoye potassium deposit. *Gornyy zhurnal*. 2008, no 10, pp. 25—29. [In Russ].
11. Dyagilev R. A. Shulakov D. Yh., Verkholantsev A. V., Glebov S. V. Seismic monitoring in potash mines: observation results and development aspects. *Gornyy zhurnal*. 2013, no 6, pp. 50—54. [In Russ].
12. Shulakov D. Y., Verkholantseva T. V. Relation between microseismic activity and parameters of mining in the Verkhnekamskoye potash deposit. *8th Int. Symp. On Rockbursts and Seismicity in Mines* (eds. Malovichko., A. and Malovichko., D.), Geophysical Survey of Russian Academy of Science and Mining Institute of Ural Branch of Russian Academy of Science, Obninsk-Perm, 2013, pp. 505—510.
13. Malovichko A., Malovichko D., Shulakov D., Dyagilev R. Multi scale seismicity at potash mines. main results of the long-term seismic monitoring at Verkhnekamskoye deposit. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 2015, Vol. 3(1), pp. 485—492.

14. Verkholantseva T.V., Dyagilev R.A. Influence of backfilling on seismic activity in potash mines. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2016, no 12, pp. 115–123. [In Russ].

15. Verkholantseva T.V., Dyagilev R.A. GIS technology for studying influence of mining parameters on seismicity in potash mines. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2016, no 2 (9), pp. 19–25. [In Russ].

16. *Metodicheskoe rukovodstvo po vedeniyu gornyx rabot na kaliynykh rudnikakh OAO «Sil'vinit» / OAO «Galurgiya»* [Methodological guidelines for mining in the potash mines of OJSC Silvinit], Novosibirsk, Nauka, 2011, 487 p. [In Russ].

17. Lomakin I.S. *Deformirovanie i razrushenie nesushchikh elementov kamernoy sistemy razrabotki v usloviyakh sloisto-neodnorodnogo stroeniya porodnogo massiva* [Deformation and destruction of the bearing elements of the chamber system development in the conditions of a layered-inhomogeneous structure of the rock mass], Candidate's thesis, Perm, GI UrO RAN, 2015, 197 p.

18. Dolgov P.V., Polyamina G.D., Zemskov A.N. *Metody prognoza i predotvrashcheniya gazodinamicheskikh yavleniy v kaliynykh rudnikakh* [Methods of prediction and prevention of gas-dynamic phenomena in potash mines], Alma-Ata, Nauka, 1987, 176 p.

19. Shulakov D.Yu., Malovichko D.A., Verkholantseva T.V. Study of mechanisms of seismic events at the Verkhnekamsk potassium salt Deposit. *Vestnik molodykh uchenykh PGNIU*: Collection of scientific papers: in 2 vol. Baturin E.N. (Ed.). Perm, Perm. gos. nats. issl. un-t, 2011, pp. 94–102. [In Russ].

20. Dyagilev R.A. Definitaion M_{max} of collapse earthquakes in regions of prevalence of anthropogenic karst. *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seysmologicheskikh dannykh. Materialy XIII Mezhdunarodnoy seysmologicheskoy shkoly*. Obninsk, FITS EGS RAN, 2018, pp. 95–98. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Злобина Татьяна Викторовна — инженер, e-mail: tati.verkholantseva@gmail.com, Горный институт Уральского отделения РАН.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Zlobina T.V., Engineer, e-mail: tati.verkholantseva@gmail.com, Mining Institute of Ural Branch, Russian Academy of Sciences, 614007, Perm, Russia.



РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

РАСЧЕТ БЕТОННОЙ КРЕПИ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТВОЛА ШАХТЫ

(№ 1203/08–19 от 08.07.2019; 9 с.)

Балахнина Евгения Евгеньевна — канд. техн. наук, доцент, e-mail: autobusred@yandex.ru, НИТУ «МИСиС».

Рассмотрены вопросы расчета бетонной крепи вертикальных стволов шахт и предложена методика расчета крепи на прочность. При этом бетонная крепь рассматривается как замкнутая цилиндрическая оболочка, подкрепленная регулярной системой кольцевых и прямолинейных ребер.

Ключевые слова: бетонная крепь, цилиндрическая оболочка, ребро, начальные параметры, вектор состояния.

VERTICAL SHAFT MINE CONCRETESUPPORT CALCULATION

E.E. Balakhnina, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: autobusred@yandex.ru, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

In this paper calculation of the vertical shaft mine concrete support has been performed. Wherein a concrete support is considered as a closed cylindrical shell, reinforced by regular system of annular and rectilinear ribs.

Key words: concrete support, cylindrical shell, rib, initial parameters, vector of state.