

Прочностной анализ каркасно-стержневых фильтров с водоприемной поверхностью в виде проволоочной намотки

И.Е. Звонарев¹✉, Д.И. Шишлянников², В.К. Картавец², А.А. Рыбин², С.Н. Пещеренко²

¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

² Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация

✉ Zvonarev_IE@pers.spmi.ru

Резюме: В статье приводятся сведения по водоотведению на месторождениях, разрабатываемых открытым способом. Указывается, что для отечественных месторождений эксплуатация систем водопонижающих скважин считается одним из наиболее рациональных методов осушения бортов карьеров и разрезов. Отмечено, что вынос песка в водопонижающие скважины обуславливает необходимость применения скважинных фильтров, работающих в условиях эрозионного и коррозионного изнашивания. Актуальной задачей является обеспечение надежного функционирования фильтров водопонижающих скважин. Предложена методика прочностного анализа фильтроэлементов каркасно-стержневых фильтров в виде спиральной проволоочной намотки, обоснована модель нагружения проволоочных фильтроэлементов и получены формулы для их прочностного анализа. В рамках исследования по предложенной методике выполнен прочностной анализ фильтроэлементов в виде проволоочной намотки из проволок треугольного и трапециoidalного сечений. Установлено, что фильтроэлементы из проволоки трапециoidalного сечения обладают большей прочностью, по сравнению с фильтроэлементами из проволоки треугольного сечения, а также что для фильтроэлементов большего диаметра требуется большее число стержней в каркасе для обеспечения заданной прочности. На основании оценки скважности рассмотренных фильтроэлементов сделаны выводы о том, что рациональным является обеспечение прочности фильтроэлементов за счет увеличения числа стержней в каркасе фильтра. Доказано, что для изготовления рассмотренных фильтроэлементов рационально использование проволоки с шириной сечения не более 5 мм. Предложенная методика прочностного анализа и выводы при внедрении в практику изготовления и эксплуатации скважинных фильтров позволяют обеспечить высокую надежность их функционирования.

Ключевые слова: водопиток, водопонижающая скважина, пескопроявление, скважинный фильтр, каркасно-стержневой фильтр, проволоочная спиральная намотка, прочностной анализ

Благодарности: Исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSNM-2024-0005).

Для цитирования: Звонарев И.Е., Шишлянников Д.И., Картавец В.К., Рыбин А.А., Пещеренко С.Н. Прочностной анализ каркасно-стержневых фильтров с водоприемной поверхностью в виде проволоочной намотки. *Горная промышленность*. 2026;(4S):187–193. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-4S-187-193>

Strength analysis of rod-frame filters with wire-wrapped filtering area

I.E. Zvonarev¹✉, D.I. Shishlyannikov², V.K. Kartavtsev², A.A. Rybin², S.N. Peshcherenko²

¹ Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation

² Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

✉ Zvonarev_IE@pers.spmi.ru

Abstract: This article provides information on water drainage in open-pit mines. It is noted that operation of the dewatering borehole systems is considered one of the most efficient methods in Russian mines for draining water from the walls of open-pit and strip mines. It is pointed out that sand carry-over into the dewatering boreholes requires the use of borehole filters operating in conditions of erosion and corrosion wear. Ensuring reliable operation of the dewatering borehole filters is a pressing challenge. This article proposes a method for the strength analysis of the filtering elements in the rod-frame filters with helically wrapped wire. It justifies a loading model for the wire filter elements, and provides formulas for their strength analysis. The study included a strength analysis that was performed using the proposed method on the wire-wrapped filter elements made using wires with triangular and trapezoidal cross-sections. It was found that the filter elements made of the trapezoidal wire have higher strength



compared to the filter elements made of the triangular wire, and that the filter elements with larger diameters require a greater number of rods in the frame to ensure the specified strength. Based on an assessment of the opening area ratio of the filter elements considered, a conclusion is made that in order to ensure the strength of the filter elements it is optimal to increase the number of rods in the filter frame. It is demonstrated that for the optimal design of the filter elements it is recommended to use wire with the cross-sectional of no more than 5 mm. The strength analysis methodology proposed in this article and the conclusions drawn from its implementation in the manufacturing and operation of the borehole filters ensure high reliability of their operation.

Keywords: water inflow, dewatering borehole, ingress of sand, borehole filter, rod-frame filter, wire-wrap, strength analysis

Acknowledgements: The research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project No. FSNM-2024-0005).

For citation: Zvonarev I.E., Shishlyannikov D.I., Kartavtsev V.K., Rybin A.A., Peshcherenko S.N. Strength analysis of rod-frame filters with wire-wrapped filtering area. *Russian Mining Industry*. 2026;(4S):187–193. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-4S-187-193>

Введение

На сегодняшний день на территории Российской Федерации и стран ближнего зарубежья более половины объемов твердых полезных ископаемых добывается открытым способом [1]. Ввиду того что пласты полезных ископаемых залегают ниже уровня грунтовых вод, разработка месторождений открытым способом нередко сопровождается обильным водопритоком в выработки (табл. 1) [2–4].

Таблица 1
Водопритоки на месторождениях, разрабатываемых открытым способом (приводится по [5])

Table 1
Water inflows in surface mines (cited from [5])

Месторождение	Объем водопритока, м ³ /ч	Общие затраты на водоотлив, млн руб/год
Карьер «Мир», Якутия	1200	400
Лебединский железорудный карьер КМА	4800	68,6
Миргалимсайские месторождения, Казахстан	10 000	82,4
Разрез «Восточный», Читинская область	6500–8300	12,8
Боголюбовское месторождение, Красноярский край	800–1200	30
Разрез Лучегорский-1, Приморский край	14 107	10,6

Известно, что обводнение горных пород приводит к ухудшению их прочностных свойств [5–7]. Для большинства пород при обводнении предел прочности на сжатие снижается в 1,2...2,4 раза, а для отдельных пород кратность снижения прочности может достигать 3,7 раз. Таким образом, для обеспечения устойчивости бортов карьеров и разрезов и, соответственно, безопасности и эффективности ведения горных работ необходима реализация мер по водоотведению, на которые приходится около трети затрат горнодобывающих предприятий на добычу полезных ископаемых [5].

Обильность водопритоков к горным выработкам зависит от множества факторов, например, таких как изменение питания водоносных пластов и их фильтрационных свойств, сезонные осадки, изменение напряженно-деформированного состояния горных массивов в процессе разработки [8–10]. Отметим, что наиболее обильный водоприток для большинства месторождений РФ наблюдается в период с мая по сентябрь [5].

Среди способов водоотведения при открытой разработке месторождений наиболее рациональным считается скважинный водоотлив благодаря низкой стоимости строительства, высокой скорости введения в эксплуатацию и технологической гибкости [11]. Откачка воды из водопонижающих скважин в повторно-кратковременном режиме сопровождается суффозионными процессами и интенсивным выносом песка в скважину [12–14].

Для снижения интенсивности суффозионных процессов при строительстве скважин осуществляется крепление прифильтровой зоны скважины с помощью скважинных фильтров. Скважинный фильтр служит и для укрепления стенок скважины, и для ограничения выноса песка в скважину. При интенсивном выносе песка в скважину происходит гидроабразивное изнашивание скважинного оборудования, а также может произойти пескование скважины, что делает её непригодной для дальнейшей эксплуатации [15; 16]. В ряде работ указывается, что ресурс известных конструкций скважинных фильтров зачастую недостаточен и не удовлетворяет современным потребностям предприятий. Скважинные фильтры работают под воздействием перепада давления, при этом условия эксплуатации обуславливают эрозионный и коррозионный износ фильтроэлементов, что является одной из частых причин их отказов [17–19]. Эрозия и коррозия приводят к истончению конструктивных элементов фильтров, в результате чего происходит прорыв фильтроэлемента [20; 21].

Каркасно-стержневые фильтры с проволоочной спиральной намоткой распространены среди скважинных фильтров благодаря простоте изготовления, возможности тонкой очистки от мелких частиц, высокой пропускной способности и малой устойчивости загрязнений [22–24]. Обеспечение надежной работы таких фильтров водопонижающих скважин через определение рациональных конструктивных параметров на основе прочностного анализа является актуальной задачей, представляющей практический и научный интерес [25].

Результаты и их обсуждение

Каркасно-стержневые фильтры с проволоочной спиральной намоткой могут различаться формой и размером сечений проволоки в намотке. Так, встречаются фильтры с треугольной, трапецидальной, призматической, каплевидной и круглой формами сечений проволок (рис. 1) [26; 27].

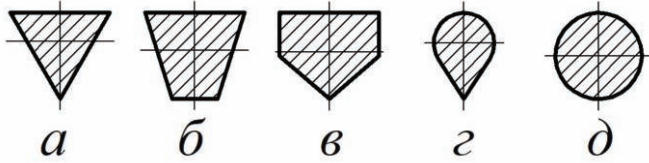


Рис. 1
Схемы сечений проволоки каркасно-стержневых фильтров с проволоочной спиральной намоткой: а – треугольное; б – трапецидальное; в – призматическое; г – каплевидное; д – круглое

Fig. 1
Wire cross-sections for rod-frame filters with wire-wrap: а – triangular; б – trapezoidal; в – prismatic; г – drop-shaped; д – circular

Среди перечисленных сечений наиболее рациональными считаются треугольное и трапецидальное сечения ввиду сравнительно невысокой сложности изготовления проволоки с данной формой сечений, а также рациональной формы образуемых фильтровых каналов, характеризующихся меньшей склонностью к заклиниванию [28]. К другим достоинствам такой проволоки относят способность к регенерации при обратной промывке фильтра, хорошую сопротивляемость эрозионному износу в процессе фильтрации жидкости [29–31].

Ввиду указанного прочностному анализу в настоящей работе подвергаются конструкции каркасно-стержневых фильтров с проволоочной спиральной намоткой из проволоки треугольного и трапецидальных сечений [32].

Фильтроэлемент каркасно-стержневого фильтра с проволоочной спиральной намоткой представляет собой каркас из расположенных по окружности вертикальных стержней, которые жестко соединены торцами с концевыми кольцами и к которым приваривается проволока в спиральной намотке. Поверхность таких фильтроэлементов стремится к цилиндрической, однако представляет собой многогранную призму из-за конечного числа стержней в каркасе [33]. То есть справедливо допущение о прямолинейности элементарных участков проволоки, соединенных с соседними вертикальными стержнями каркаса. Поэтому в качестве модели нагружения элементарного участка проволоки фильтроэлемента предлагается использование модели изгиба двухопорной балки с жесткой заделкой по обоим концам.

Нагружение фильтроэлемента зависит от перепада давления и геометрических параметров сечений проволоки и каркаса. Увеличение площади сечения проволоки ограничено целесообразностью, поскольку существенно снижает скважность фильтра и его эксплуатационные показатели [34].

Уменьшение диаметра фильтроэлемента также не является рациональным, поскольку при этом существенно сокращаются площадь поверхности фильтра и, соответственно, пропускная способность фильтра [35; 36]. Таким образом, обеспечение прочности за счет изменения конструктивных параметров каркаса, в частности, количества стержней в нем, является предпочтительным [37].

Расчетная формула для определения минимально необходимого количества стержней в каркасе фильтроэлемента:

$$n_c \geq \pi \cdot \arcsin^{-1} \left(\frac{1}{D_{\Phi\Phi} - 2h} \cdot \sqrt{\frac{8[\sigma_\tau]W_x}{n\Delta P B}} \right), \quad (1)$$

где n_c – количество стержней в каркасе, шт.; ΔP – перепад давления на фильтре, Па; $[\sigma_\tau]$ – предел текучести материала проволоки, Па; $D_{\Phi\Phi}$ – диаметр фильтроэлемента, м; W_x – момент сопротивления изгибу сечения, м³; h – высота сечения стержня проволоки, м; B – ширина сечения стержня проволоки, м.

Если представить ширину сечения B функцией времени $B(t)$, характер которой зависит от процессов эрозионного и коррозионного изнашивания фильтроэлемента, то возможно выполнить оценку минимально необходимого числа стержней каркаса для обеспечения требуемого ресурса фильтра в условиях эрозионного изнашивания [38; 39]. Полученная формула (1) позволяет проанализировать взаимное влияние основных геометрических параметров фильтроэлемента друг на друга в заданных условиях с точки зрения прочностного анализа.

Исходя из формулы (1) рассчитано минимально необходимое число стержней каркаса в зависимости от диаметра и размеров сечения проволоки в спиральной намотке. Для расчетов было принято, что площади треугольного и трапецидального сечений одинаковы. Значение ширины проволоки B варьировалось в диапазоне 2...7 мм, диаметра $D_{\Phi\Phi}$ – 75...114 мм. Треугольное сечение принято в виде равностороннего треугольника. Для трапеции было принято соотношение ширины к высоте $h = (5/8)B$. Материал проволоки 08X18H10T ($[\sigma_\tau] = 275$ МПа). Запас прочности $n = 4$. Величина перепада давления $\Delta P = 0,5$ МПа. Полученные расчетные значения для указанных сечений представлены в виде диаграмм на рис. 2.

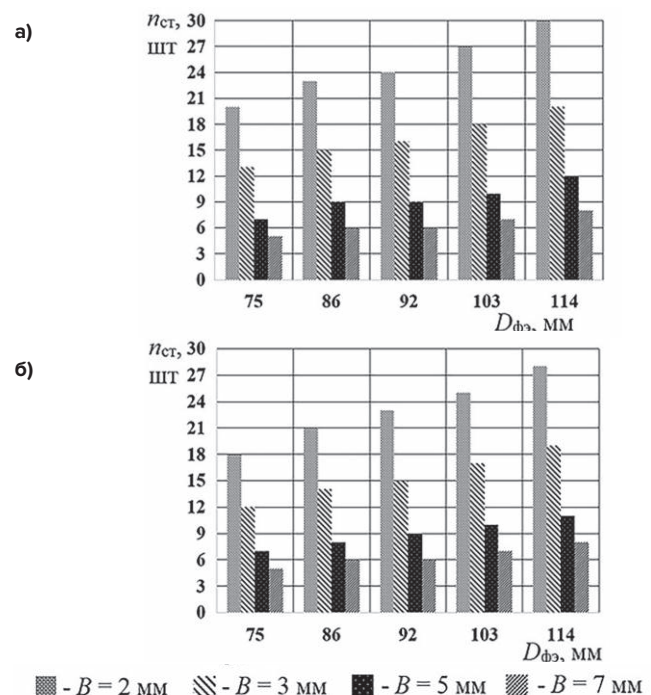


Рис. 2
Диаграммы минимально-необходимого числа стержней в каркасе: а – треугольное; б – трапецидальное

Fig. 2
Bar charts of the minimum required number of rods in frame: а – triangular; б – trapezoidal

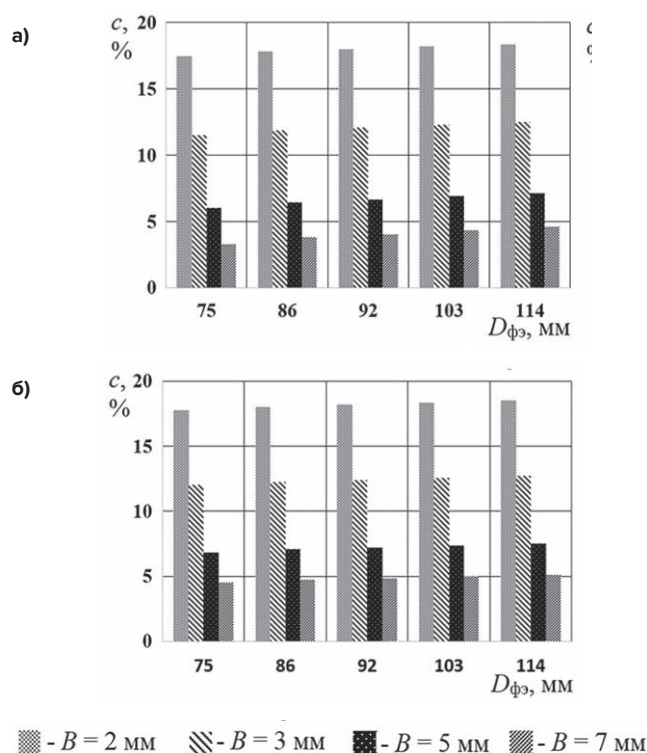


Рис. 3
Скважность рассмотренных
фильтров: а – треугольное;
б – трапецидальное

Рис. 3
Скважность рассмотренных
фильтров: а – треугольное;
б – трапецидальное

Из диаграмм на рис. 2 видно, что при равной площади трапецидальное сечение обладает несколько большей прочностью в условиях нагружения фильтроэлемента, и, кроме того, увеличение диаметра фильтроэлемента ведет к увеличению потребного числа стержней каркаса для обеспечения равной прочности рассмотренных фильтроэлементов. Согласно выполненным расчетам установлено, что трапецидальное сечение имеет большую на 10...20% прочность в условиях нагружения фильтроэлемента в виде спиральной проволоочной намотки, чем треугольное сечение проволоки.

Исходя из полученных результатов прочностных расчетов была также оценена скважность фильтров с указанными параметрами и расчетным количеством стержней каркаса. При оценке ширина стержней B_1 была принята равной ширине проволоки B , значение тонкости очистки s принято равным 200 мкм, поскольку оно является одним из наиболее распространенных среди серийно выпускаемых фильтров. Результаты оценки скважности представлены на рис. 3.

Согласно диаграммам, приведенным на рис. 3, разность скважности фильтроэлементов с проволокой треугольного и трапецидального сечения незначительна. Однако отметим, что при увеличении ширины проволоки, несмотря на увеличение прочности, наблюдается существенное снижение скважности. Это указывает на нецелесообразность повышения прочности фильтроэлементов за счет увеличения размеров сечения проволоки. Так, для проволоки шириной 7 мм скважность составляет менее 5%, что считается неудовлетворительным. Таким образом, исходя из полученных диаграмм рациональным будет использование проволоки шириной не более 5 мм. Кроме того, установлено, что увеличение диаметра фильтроэлемента ведет к увеличению потребного числа стержней в каркасе для обеспечения одинаковой прочности фильтроэлементов (см. рис. 2), однако при этом происходит также небольшое увеличение скважности фильтроэлементов (см. рис. 3), что также было предположено в работе [37].

Заключение

Авторами выполнен прочностной анализ фильтроэлементов каркасно-стержневых фильтров с проволоочной намоткой: трапецидальное сечение обладает на 10–20% большей прочностью, чем треугольное. Повышение прочности рационально осуществлять за счёт увеличения числа стержней в каркасе, а использование проволоки шириной более 5 мм нецелесообразно вследствие сокращения скважности. Предложенные методика, формулы и выводы могут быть использованы при проектировании и эксплуатации скважинных фильтров для обеспечения их надежного функционирования.

Список литературы / References

1. Gloukhov D.V., Zvonareva A.G., Stolbovskaya N.V., Suchkov D.V., Turovskaya L.G., Lomakin A.V., Smirnova D.O. Investigation of interdependencies in an environmentally sustainable energy generation system utilizing coalbed methane: A statistical analysis approach. *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*. 2027;40(2):441–453. <https://doi.org/10.5829/ije.2027.40.02b.09>
2. Аннаев К., Мырадова Д., Аннабердиев А., Караева А. Наилучшая практика и новые технологии в геотехнике открытых горных работ. *Символ науки*. 2024;(9-2):25–27.
Annaev K., Myradova D., Annaberdiev A., Karaeva A. Best practices and new technologies in geotechnical engineering for surface mining. *Symbol of Science*. 2024;(9-2):25–27. (In Russ.)
3. Будилова В.В., Павлович А.А., Иконников Д.А. Анализ распространения деформаций по земной поверхности при разработке месторождения открытым способом. *Записки Горного института*. 2013;204:117–121. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/5562> (дата обращения: 15.04.2026).
Budilova V.V., Pavlovich A.A., Ikonnikov D.A. Analysis of dissemination of surface deformation at open pit mining. *Journal of Mining Institute*. 2013;204:117–121. (In Russ.) Available at: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/5562> (accessed: 15.04.2026).



4. Екимова О.А., Парфенова Л.П., Бичукина И.А. Оценка притоков подземных вод в карьер при разработке медножелезо-ванадиевого месторождения на среднем Урале. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(5-1):70–81. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_51_0_70
Ekimova O.A., Parfenova L.P., Bichukina I.A. Assessment of groundwater inflows into the opencast mine during the development of a copper-iron-vanadium deposit in the Middle Urals. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(5-1):70–81. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_51_0_70
5. Гузеев А.А., Кисляков В.Е., Нафиков Р.З. *Обоснование технологии экскаваторной разработки обводненных месторождений*. Красноярск: СФУ; 2017. 163 с.
6. Рысин А.И., Лебедева А.М., Карасев М.А., Нуртдинов А.С. Влияние техногенных рассолов на прочностные характеристики пород продуктивной толщи Палашерского участка Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. *Записки Горного института*. 2025;274:142–153. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16417> (дата обращения: 15.04.2026).
Rysin A.I., Lebedeva A.M., Karasev M.A., Nurtadinov A.S. Influence of technogenic brines on the strength characteristics of rocks in the productive strata of the Palashersky section of the Verkhnekamskoe potassium-magnesium salt deposit. *Journal of Mining Institute*. 2025;274:142–153. Available at: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/16417> (accessed: 15.04.2026).
7. Королев Р.И., Уразов Д.В., Юнгмейстер Д.А., Сержан С.Л., Федоров Е.В. Комплекс послойной механизированной обратной закладки выработанного пространства для утилизации отходов обогащения. *Обогащение руд*. 2025;(6):47–52. <https://doi.org/10.17580/or.2025.06.09>
Korolev R.I., Urazov D.V., Yungmeyster D.A., Serzhan S.L., Fedorov E.V. System for layer-by-layer mechanized backfill of mined-out spaces for the disposal of processing waste. *Obogashchenie Rud*. 2025;(6):47–52. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/or.2025.06.09>
8. Копосов П.В., Жуков И.А., Бойко В.С. Обзор кинематических схем дробильных машин с непрямолинейной формой щеки. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(11-1):102–115. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_111_0_102
Koposov P.V., Zhukov I.A., Boiko V.S. Justification of the practical application of jaw crushing machines with a non-linear cheek shape. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(11-1):102–115. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_111_0_102
9. Koposov P.V., Zhukov I.A., Boiko V.S. Justification of the practical application of jaw crushing machines with a non-linear cheek shape. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(11-1):102–115. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_111_0_102
10. Михайлов А.В., Жигульская А.И., Казаков Ю.А. Рациональная технология комплексной разработки торфяных месторождений. *Горная промышленность*. 2024;(1):66–69. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-1-66-69>
Mikhailov A.V., Zhigulskaya A.I., Kazakov Yu.A. Rational technology for integrated mining of peat deposits. *Russian Mining Industry*. 2024;(1):66–69. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-1-66-69>
11. Мельник В.В. Научные основы создания системы осушения обводненных месторождений с учетом структурно-тектонического строения и современной геодинамической активности участка недропользования. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021;(5-2):111–120. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_52_0_111
Mel'nik V.V. Scientific basis for the creation of a drainage system for flooded deposits, taking into account the structural and tectonic structure and modern geodynamic activity of the subsurface use area. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2021;(5-2):111–120. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_52_0_111
12. Zakirova G.S., Krapivsky E.I. Thermophysical properties control during transportation of the liquefied hydrocarbon mixtures by means of REFPROP software package. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;1728: 012026. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1728/1/012026>
13. Литвиненко В.С., Двойников М.В. Методика определения параметров режима бурения наклонно прямолинейных участков скважины винтовыми забойными двигателями. *Записки Горного института*. 2020;241:105–112. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.1.105>
Litvinenko V.S., Dvoynikov M.V. Methodology for determining the parameters of drilling mode for directional straight sections of well using screw downhole motors. *Journal of Mining Institute*. 2020;241:105–112. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.1.105>
14. Атрошенко Ф.Г., Шкиль И.Э. Опыт эксплуатации водопонижающих скважин при открытой разработке алмазонасных трубок месторождения им. М.В. Ломоносова. *Разведка и охрана недр*. 2020;(1):25–32.
Atroschenko F.G., Shkil I.E. Dewatering wells' exploitation in the developing of the diamond pipes of the mine by M.V. Lomonosov. *Prospect and Protection of Mineral Resources*. 2020;(1):25–32. (In Russ.)
15. Ивашечкин В.В., Автушко П.А. *Ремонтпригодные водозаборные скважины*. Минск: БНТУ; 2016. 228 с. Режим доступа: <https://rep.bntu.by/handle/data/27322> (дата обращения: 15.04.2026).
16. Болобов В.И., Ле Т.Б., Чупин С.А., Плащинский В.А. Зависимость наработки пики гидромолота от износостойкости ее материала. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020;(5):68–79. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-5-0-68-79>
Bolobov V.I., Le T.B., Chupin S. A., Plashchinsky V.A. Dependence of the lifelength of a hydraulic hammer pick on the wear resistance of its material. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2020;(5):68–79. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-5-0-68-79>



17. Deng F., Deng Z., Liang H., Wang L., Hu H., Xu Y. Life prediction of slotted screen based on back-propagation neural network. *Engineering Failure Analysis*. 2021;119:104909. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104909>
18. Shi B., Ying R., Wu L., Pan J., Zhang X., Liu K., Zhang Y. A simplified model for the prediction of the erosion of a metal screen for sand control. *Fluid Dynamics & Materials Processing*. 2021;17(3):667–682. <https://doi.org/10.32604/fdmp.2021.012693>
19. Решетняк С.Н., Решетняк М.Ю., Сапаров Р.Б., Искандяров Н.А., Кузиев Д.А. Повышение эффективности функционирования электротехнических систем угольных шахт. *Уголь*. 2026;(3):111–115. Режим доступа: <https://ugolinfo.ru/index.php?article=202603111> (дата обращения: 27.03.2026).
Reshetnyak S.N., Reshetnyak M.Yu., Saparov R.B., Iskandarov N.A., Kuziev D.A. Enhancing the efficiency of electrical systems in coal mines. *Ugol'*. 2026;(3):111–115. (In Russ.) Available at: <https://ugolinfo.ru/index.php?article=202603111> (accessed: 27.03.2026).
20. Abduljabbar A., Amadi A., Mohyaldinn M.E., Ridha S., Younis O., Alakbari F.S. Sand screens application and performance for sand control: A review of selection criteria, screen materials, and causes of failure. *Heliyon*. 2024;10(10):e30731. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30731>
21. Zvonarev I.E., Ivanov S.L., Shishlyannikov D.I. Estimation of the residual operation life period of mechanical transmissions of mining machines by means of superficial metal hardness measurement in increased wear areas of their parts. *Procedia Engineering*. 2016;150:618–625. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.054>
22. Zhou W., Wu P., Zhang L., Zhu D., Zhao X., Cai Y. Heavy metal ions and particulate pollutants can be effectively removed by a gravity-driven ceramic foam filter optimized by carbon nanotube implantation. *Journal of Hazardous Materials*. 2022;421:126721. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126721>
23. Михайлов А.В., Репкина К.С. Гидравлическая жидкость как фактор управления техническим состоянием гидравлической системы горных машин. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2026;(5):39–51. Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2026/5/05_2026_39-51.pdf (дата обращения: 15.04.2026).
Mikhailov A.V., Repkina K.S. Hydraulic fluid as a controlling factor of hydraulic system technical condition of mining machines. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2026;(5):39–51. (In Russ.) Available at: https://giab-online.ru/files/Data/2026/5/05_2026_39-51.pdf (accessed: 15.04.2026).
24. Klevtsov V.A., Timofeev D.Yu., Khalimonenko A.D. Improved design of manufacturing processes for mining machines: basing concepts. *Russian Engineering Research*. 2023;43(11):1367–1375. <https://doi.org/10.3103/S1068798X23110151>
25. Reshetnyak S.N., Zotov V.V., Kuziev D.A., Kozlova O.Yu. Enhancing performance efficiency of electric consumers within surface infrastructure of coal mines. *Eurasian Mining*. 2025;(1):100–104. <https://doi.org/10.17580/em.2025.01.20>
26. Симонова Е.В. Влияние основных технических параметров на эффективность работы проволочных скважинных фильтров. *Наукофера*. 2022;(4-2):242–247.
Simonova E.V. Influence of the main characteristics on the efficiency of wire-wrapped screens. *Naukosfera*. 2022;(4-2):242–247. (In Russ.)
27. Fattahpour V., Roostaei M., Hosseini S.A., Soroush M., Berner K., Mahmoudi M. et al. Experiments with stand-alone sand-screen specimens for thermal projects. *SPE Drilling & Completion*. 2021;36(1):188–207. <https://doi.org/10.2118/199239-PA>
28. Keksins A.I., Filipenko I.A., Sorokopud N.I., Ovsyannikov D.A. Effect of process parameters of magnetic abrasive finishing on productivity while ensuring surface quality of electrical engineering products. *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*. 2026;39(11):2815–2823. <https://doi.org/10.5829/ije.2026.39.11b.13>
29. Овчинников Н.П. Снижение загрязнения шахтных вод в системе участкового водоотлива кимберлитового рудника. *Горные науки и технологии*. 2025;10(2):169–179. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2024-07-274>
Ovchinnikov N.P. Reducing mine water contamination at the local drainage facility of a kimberlite mine. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2025;10(2):169–179. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2024-07-274>
30. Переверзева В.С., Акулышин А.А. Сравнительная характеристика фильтров водозаборных скважин. В кн.: *Будущее науки – 2016: сб. науч. ст. 4-й Междунар. молодежной науч. конф., г. Курск, 14–15 апреля 2016 г.* Курск: Университетская книга; 2016. Т. 3. С. 204–208.
31. Zhang R., Hao S., Zhang C., Meng W., Zhang G., Liu Z. et al. Analysis and simulation of erosion of sand control screens in deep water gas well and its practical application. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2020;189:106997. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.106997>
32. Ahad N.A., Jami M., Tyson S. A review of experimental studies on sand screen selection for unconsolidated sandstone reservoirs. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. 2020;10(4):1675–1688. <https://doi.org/10.1007/s13202-019-00826-y>
33. Плащинский В.А., Шешукова Е.И., Салимов А.Э., Шибанов Д.А., Иванов С.Л. Численное моделирование процесса копания ковшем экскаватора методом дискретных элементов. *Горная промышленность*. 2025;(4):144–150. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-144-150>
Plaschinsky V.A., Sheshukova E.I., Salimov A.E., Shibarov D.A., Ivanov S.L. Numerical simulation of the digging process with an excavator bucket using the discrete element method. *Russian Mining Industry*. 2025;(4):144–150. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-144-150>



34. Mohamed A.Y.A., Siggins A., Healy M.G., Fenton O., Ó hUallacháin D., Tuohy P. A novel hybrid coagulation-intermittent sand filter for the treatment of dairy wastewater. *Journal of Cleaner Production*. 2022;369:133234. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133234>
35. Tian D., Yang W., Tian H. Design and performance research of stainless steel water filter screen for groundwater circulation well remediation. *Chinese Journal of Environmental Engineering*. 2024;18(4):978–986. (In Chinese) <https://doi.org/10.12030/j.cjee.202311039>
36. Guo Y., Nouri A., Nejadi S. Effect of slot width and density on slotted liner performance in SAGD operations. *Energies*. 2020;13(1):268. <https://doi.org/10.3390/en13010268>
37. Shamyay V.L., Kalantaryan M.A. Maximum permissible technological parameters of frame-filling filters. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. *Geo Assets Engineering*. 2023;334(12):161–170. <https://doi.org/10.18799/24131830/2023/12/4175>
38. Abduljabbar A., Mohyaldinn M., Younis O., Alghurabi A. A numerical CFD investigation of sand screen erosion in gas wells: Effect of fine content and particle size distribution. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2021;95:104228. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2021.104228>
39. Abduljabbar A., Mohyaldinn M.E., Younis O., Alghurabi A., Alakbari F.S. Erosion of sand screens by solid particles: a review of experimental investigations. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. 2022;12(8):2329–2345. <https://doi.org/10.1007/s13202-022-01467-4>

Информация об авторах

Звонарев Иван Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент, кафедра машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-9672-6505>; e-mail: Zvonarev_IE@pers.spmi.ru

Шишлянников Дмитрий Игоревич – доктор технических наук, профессор, кафедра горной электромеханики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-7395-6869>

Картавцев Вадим Кириллович – аспирант, кафедра горной электромеханики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация; <https://orcid.org/0009-0008-5379-7726>

Рыбин Александр Аркадьевич – доктор технических наук, профессор, кафедра горной электромеханики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация; <https://orcid.org/0009-0007-8315-218X>

Пещеренко Сергей Николаевич – доктор физико-математических наук, профессор, кафедра горной электромеханики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-1925-978X>

Information about the authors

Ivan E. Zvonarev – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-9672-6505>; e-mail: Zvonarev_IE@pers.spmi.ru

Dmitriy I. Shishlyannikov – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Mining Electromechanics, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-7395-6869>

Vadim K. Kartavtsev – Postgraduate Student, Department of Mining Electromechanics, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0008-5379-7726>

Alexander A. Rybin – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Mining Electromechanics, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0007-8315-218X>

Sergey N. Peshcherenko – Dr. Sci. (Phys.&Math.), Professor, Department of Mining Electromechanics, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-1925-978X>

Article info

Received: 03.06.2026

Revised: 29.07.2026

Accepted: 05.08.2026

Информация о статье

Поступила в редакцию: 03.06.2026

Поступила после рецензирования: 29.07.2026

Принята к публикации: 05.08.2026