

КЛАССИФИКАЦИЯ ФАКТОРОВ, ОКАЗЫВАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ НА РАБОТУ МАНЖЕТНЫХ УПЛОТНЕНИЙ ГИДРОСТОЕК МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ

В работе рассмотрены основные факторы, которые определяют работу манжет гидростоек механизированных крепей с точки зрения их герметичности и сохранения работоспособности. Основные результаты и выводы получены по результатам моделирования поведения уплотнений в герметизируемом зазоре с помощью метода конечных элементов, используя модель Муни-Ривлина для резиноподобных материалов. В качестве критериев для сравнения отдельных вариантов поведения манжет использовались интегральные показатели, комплексно характеризующие уровень их герметичности и прочности. К таким показателям относятся величина выдавливания материала манжеты в перекрываемый ей зазор, коэффициент запаса прочности и коэффициент запираения рабочей жидкости, характеризующий плотность прижатия манжеты к уплотняемой поверхности. По результатам проведённых исследований составлена классификация основных факторов, определяющих работоспособность манжетных уплотнений гидростоек, учёт которых при проектировании и выборе типа механизированного комплекса для конкретных горно-геологических условий позволит избежать потери герметичности основного узла крепи и повысить надёжность крепления очистного забоя.

Ключевые слова: гидравлическая стойка, механизированная крепь, герметичность, уплотнение, подземная добыча угля, очистной забой.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-65-29-37

В настоящее время в связи с углублением горных работ наблюдается ухудшение горно-геологических условий эксплуатации механизированных комплексов. При этом общее количество механизированных комплексов снижается, а их производительность — увеличивается, что свидетельствует об интенсификации процесса добычи угля [1, 2]. Всё это накладывает повышенные требования к уровню надёжности работы комплексно-механизированных забоев.

Основными элементами механизированной крепи, непосредственно воспринимающими горное давление и обеспечивающими надёжные и безопасные условия труда и механизмов в очистном забое,

являются гидравлические стойки, уровень герметичности которых определяет работу комплекса в целом [1–5].

Гидравлическая стойка представляет собой силовой гидроцилиндр одинарной или двойной гидравлической раздвижности, который воспринимает усилие от горных пород за счёт давления рабочей жидкости в её поршневой полости (рис. 1) [6–9].

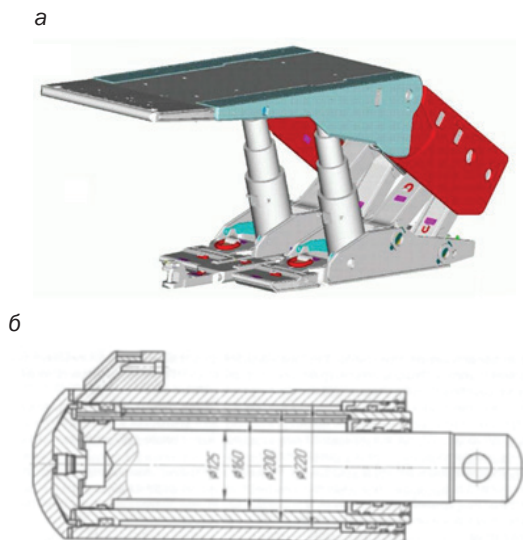


Рис. 1. Конструкция механизированной крепи:

a — секция крепи с гидростойками; *b* — гидростойка двойной раздвижности в разрезе

Принцип работы уплотнения сводится к следующему. При возвратно-поступательном движении поверхность рабочего цилиндра 1 (рис. 2), с одной стороны, и поверхность канавки поршня 2, с другой стороны, контактируют друг с другом через уплотнительный узел 3, представляющий собой манжету.

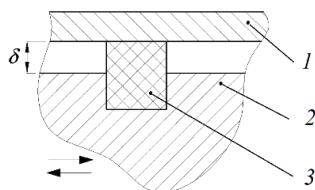


Рис. 2. Схема перекрытия уплотняемого зазора:

1 — рабочий цилиндр; 2 — поршень;
3 — уплотнение; δ — уплотняемый зазор

Величина уплотняемого зазора δ определяется полями допусков на изготовление поршня и цилиндра [3], а также радиальными деформациями стенки цилиндра [4] от действия давления рабочей жидкости и дополнительных усилий от перекоса штока и цилиндра, которые определяются конструктивными, геометрическими и силовыми параметрами.

ми гидростойки, свойствами материала рабочего цилиндра и параметрами внешних нагрузок со стороны обрушающихся пород кровли [5–8].

Поверхность, подлежащая уплотнению, представляет из себя сеть соединённых между собой микроканалов, образованных микронеровностями, которые перекрываются уплотнением 1 (рис. 3) за счёт его вдавливания в микронеровности уплотняемой поверхности 2. Этот процесс происходит под действием давления в манжете P_k на контакте с поверхностью. Величина утечек через сеть микроканалов характеризует уровень герметичности и определяется высотой микронеровностей уплотняемой поверхности (шероховатостью поверхности при механической обработке и различными повреждениями — царапинами при эксплуатации), величиной контактного давления P_k , величиной запираемого давления рабочей жидкости p , шириной уплотнения B , вязкостью рабочей жидкости и свойствами материала уплотнения [9–12].

Схема взаимодействия уплотнения с контактирующей поверхностью и перекрытия микроканалов на уплотняемой поверхности представлена на рис. 3.

Одним из неприятных явлений при работе манжет с возвратно-поступательным движением является выдавливание их материала в зазор между уплотняемыми поверхностями, которое является мощным концентратором напряжений и способствует разрушению уплотнения путём отрыва от него небольших кусочков материала.

Поведение уплотнения в зазоре можно численно оценить коэффициентом запаса прочности n (отношение допускаемых, предельных напряжений к максимальным), величиной выдавливания уплотнения в зазор L и коэффициентом запирания рабочей жидкости $K = P_k/p$ (рис. 3).

Для исследования влияния параметров уплотнительного узла на его напряжённо-деформированное состояние была разработана специальная конечно-элементная модель, учитывающая геометрические размеры уплотнения, канавки поршня, давление рабочей жидкости в поршневой полости, зазоры между поршнем и цилиндром, свойства материалов уплотнения.

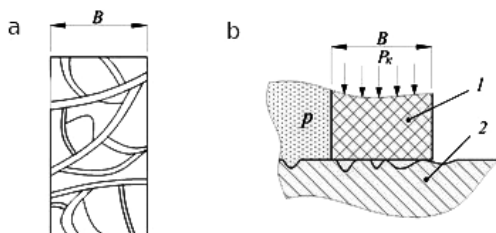


Рис. 3. Взаимодействие уплотнения с уплотняемой поверхностью:

1 — материал уплотнения; 2 — уплотняемая поверхность; p — давление рабочей жидкости; P_k — давления в манжете на контакте с поверхностью; B — ширина уплотнения; а — микроканалы на уплотняемой поверхности; б — взаимодействие уплотнения с поверхностью

Решение проводится в два этапа. Сначала находятся деформации и напряжения манжетного уплотнения от предварительного натяга при его монтаже, а затем прикладывается рабочее давление рабочей жидкости. При решении используется деформационная модель для резиноподобных материалов с функцией распределения плотности энергии напряжений по Муни-Ривлину (Mooney-Rivlin) [13–16].

На рис. 4 приведены результаты расчётов методом конечных элементов напряжённно-деформированного состояния уплотнения, выполненного по ГОСТ 6678-72, при давлении рабочей жидкости $P = 50$ МПа и величине уплотняемого зазора $\delta = 190$ мкм, при этом коэффициент запираания равен 1.01, коэффициент запаса прочности составил 5.2.

По результатам конечно-элементного моделирования манжетных уплотнений различного типа были выявлены следующие особенности их поведения в различных конструкциях гидростоек. При повышении давления рабочей жидкости и увеличении уплотнительного зазора наблюдается резкое увеличение числовых значений критериев выдавливания в зазор материала уплотнения (L) и резкое уменьшение коэффициента запаса прочности (n), вплоть до критических его значений (рис. 5).

Коэффициент запираания рабочей жидкости при увеличении рабочего давления резко возрастает (рис. 6), что благоприятно сказывается на герметичности уплотнительного узла, т.к. по рекомендациям различных авторов он должен быть более единицы.

Уменьшению выдавливания материала манжеты в уплотнительный зазор при больших давлениях рабочей жидкости способствуют конструкции с подкладными кольцами и конструкции с равномерными контактными давлениями.

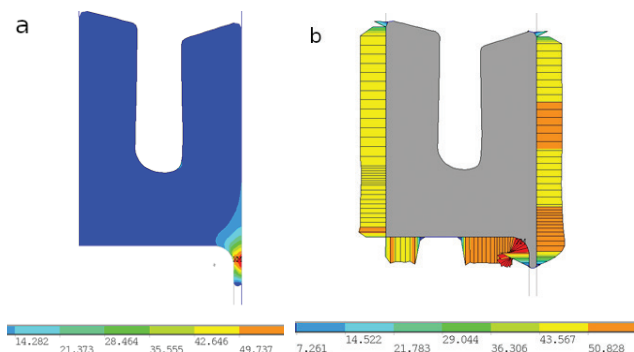


Рис. 4. Распределение напряжений по Мизесу и контактных давлений в манжете по ГОСТ 6678-72 при уплотняемом зазоре $\delta = 190$ мкм и давлении рабочей жидкости $P = 50$ МПа

a — напряжения по Мизесу, МПа; *b* — контактные давления на уплотняемой поверхности, МПа

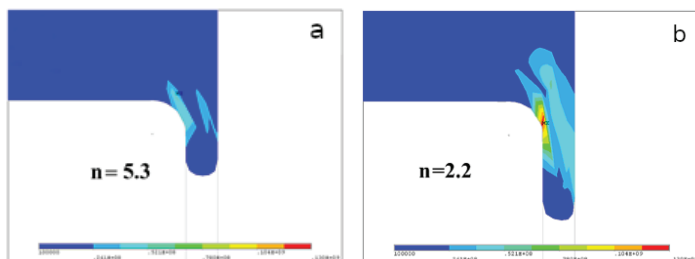


Рис. 5. Напряжён-деформированное состояние манжеты по ГОСТ 6678-72 при уплотняемом зазоре $\delta = 190$ мкм

n — коэффициент запаса прочности; a — давление рабочей жидкости $P = 50$ МПа; b — давление рабочей жидкости $P = 70$ МПа

На основании вышесказанного можно выделить основные факторы, влияющие на работу уплотняющего элемента по перекрытию зазора между рабочим цилиндром и поршнем в гидростойках механизированных крепей, от которых зависит предотвращение потери герметичности гидростоек и сохранение работоспособности выемочного комплекса.

На рис. 7 приведены основные факторы, от которых зависит работа манжет в уплотняемом зазоре гидростоек механизированной крепи. Стрелками указаны направления подчинённости факторов в сторону их укрупнения. Например, параметры уплотнения (символ 4) определяются его конструкцией, формой и размерами (символ 4.1), свойствами его материалов (символ 4.2) и предварительным натягом (символ 4.3).

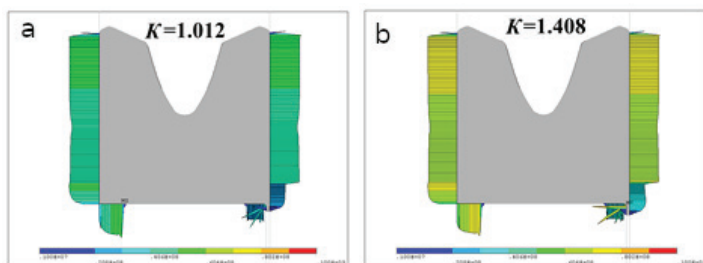


Рис. 6. Распределение контактных давлений (Па) для манжеты по ГОСТ 6678-72 при уплотняемом зазоре $\delta=190$ мкм:

K — коэффициент запираия рабочей жидкости; a — давление рабочей жидкости $P = 50$ МПа; b — давление рабочей жидкости $P = 70$ МПа



Рис. 7. Классификация факторов, оказывающих влияние на работу манжетных уплотнений гидростоек механизированных крепей

Основными факторами, влияющими на эффективность перекрытия манжетами уплотняемых зазоров, являются геометрические параметры канавки поршня, точность изготовления поршня и рабочего цилиндра, определяющая величины их допусков на изготовление, шероховатость сопрягаемых поверхностей, свойства материалов и рабочей жидкости, конструктивные особенности уплотнения, а также величина его предварительного натяга при монтаже. Комплексный учёт этих параметров при проектировании и для выбора реальных гидростоек в конкретных условиях эксплуатации добычного комплекса позволит избежать потерь герметичности основного узла крепи и повысить надёжность и безопасность ведения горных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таразанов И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2017 года // Уголь. — 2018. — № 3. — С. 58–73.
2. Стебнев А.В., Мухортиков С.Г., Задков Д.А. Анализ работы очистных механизированных комплексов в условиях шахт АО «СУЭК-КУЗБАСС» // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики : IPDME-2017 : сб. науч. тр. междунар. науч.-техн. конф. Научные редакторы В.В. Максarov, В.В. Гавов. — 2017. — С. 84–89.

3. Набатникова Т.Ю. Обоснование вида посадок соединений деталей в заделках гидростоек // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2001. — № 12. — С. 178–181.

4. Buyalich G.D., Buyalich K.G., Voyerodin V.V. Radial deformations of working cylinder of hydraulic legs depending on their extension // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — IOP Publishing, 2015. — Vol. 91. — No 012087. — DOI:10.1088/1757-899X/91/1/012087.

5. Singh G.S. P., Singh U.K. Assessment of dynamic loading and rapid yield valve requirement for powered roof supports in longwall workings // Mining Technology : IMM Transactions section A. — 2009. — Vol. 118. — No 1. — pp. 47–52.

6. Szurgacz D., Brodny J. Dynamic Tests of a Leg in a Powered Roof Support Equipped with an Innovative Hydraulic System // E3S Web of Conferences. — 2018. — Vol. 41. # 03019. — DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184103019>.

7. Буялич Г.Д., Антонов Ю.А., Буялич К.Г., Казанцев М.В. Математическая модель процесса динамического обрушения кровли // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2012. — Отд. вып. 7 : Современные технологии на горнодобывающих предприятиях. — С. 233–237.

8. Увакин С.В. К вопросу о модальном анализе гидростоек механизированных крепей // Уголь. — 2016. — № 7 (1084). — С. 53–55.

9. Nyemeck A., Ledauphin T. Experimental analysis of mechanical seals operating under thermal shock // Sealing Technology. — 2015. — Vol. 2015. — No. 2. — pp. 8–12.

10. Shangguan W., Liu T., Wang X., Xu C., Yu B. A method for modelling of fatigue life for rubbers and rubber isolators // Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures. — 2014. — Vol. 37. — No. 6. — pp. 623–636.

11. Marco Y., Saux V.L., Jégou L., Launay A., Serrano L., Raoult I., Calloch S. Dissipation analysis in SFRP structural samples: Thermomechanical analysis and comparison to numerical simulations // International Journal of Fatigue. — 2014. — Vol. 67. — pp. 142–150.

12. Masquelier I., Marco Y., Le Saux V., Calloch S., Charrier P. Determination of dissipated energy fields from temperature mappings on a rubber-like structural sample: Experiments and comparison to numerical simulations // Mechanics of Materials. — 2015. — Vol. 80. — No. A. — pp. 113–123.

13. Buyalich, G.D., Buyalich K.G. Modeling of Hydraulic Power Cylinder Seal Assembly Operation // Mining 2014 : Taishan Academic Forum — Project on Mine Disaster Prevention and Control : Chinese Coal in the Century: Mining, Green and Safety, China, Qingdao, 17–20 October 2014. — Paris : Atlantis Press, 2014. — P. 167–170.

14. Коробейников С.Н., Кургузов В.Д., Ларичкин А.Ю., Олейников А.А. Компьютерное моделирование деформирования эластомеров // Известия Алтайского государственного университета. — 2014. — № 1. — С. 165–169.

15. Белкин А.Е., Даштиев И.З., Костромицких А.В. Определение параметров упругости полиуретана при больших деформациях по результатам испытаний образцов на кручение и растяжение // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. — 2016. — № 8. — С. 3–10.

16. Белкин А.Е., Даштиев И.З., Семенов В.К. Математическая модель вязкоупругого поведения полиуретана при сжатии с умеренно высокими скоростями деформирования // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». — 2014. — №6. — С. 44–58. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Бяков М. А.^{1,2} — главный геолог,

Буялич Г. Д.² — д.т.н., доцент, зав. кафедрой, gdb@kuzstu.ru;

Буялич К. Г.² — к.т.н., доцент,

¹ АО «СУЭК-Кузбасс», Россия, Кемеровская обл., г. Ленинск-Кузнецкий, ул. Васильева, 1;

² Министерство науки и высшего образования РФ, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018.

№ 12 (special'nyj vypusk 65), pp. 29–37.

Byakov M.A., Buyalich G.D., Buyalich K.G.

Classification of the factors impacting the performance of sealing cups of powered support hydraulic props

The paper considers the main factors that determine the performance of the sealing cups of powered support hydraulic props in terms of ensuring their tightness and maintaining their efficiency. The main results and conclusions were obtained from modeling the behavior of seals in a sealed gap using the finite element method by applying the Mooney-Rivlin model for rubber-like materials. As the criteria for comparing individual variants of the behavior of sealing cups, the integrated indicators were used that characterized the level of their tightness and strength in a complex. These indicators include the amount of extrusion of the sealing cup material into the gap that it overlaps, the safety factor and the ratio of locking the hydraulic oil which characterizes the tightness of the seal pressing against the sealing surface. Based on the results of the studies, the classification is made of the main factors determining the performance of the hydraulic prop sealing cups. Consideration of those factors during designing and selection of the type of powered supports for specific mining and geological conditions will allow us to avoid the loss of integrity of the main support assembly and to increase the reliability of production face support.

Keywords: hydraulic prop, powered support, tightness, sealing, underground coal mining, production coal face.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-65-29-37

AUTHORS

Byakov M.A.^{1,2}, Chief Geologist,

Buyalich G.D.², D.Sc. (Engineering), Associate Professor, Head of Department,

Buyalich K.G.², C.Sc. (Engineering), Associate Professor,

¹ АО «СУЭК-Кузбасс», 1, Vasilev street, Leninsk-Kuznetsky, Kemerovo region, 652507, Russia;

² The RF Ministry of Science and Higher Education, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University», 28 Vesennyya street, Kemerovo, 650000, Russia.

REFERENCES

1. Tarazanov I.G. Results of the Russian coal industry in January-December 2017. *Ugol'*. 2018. no 3. pp. 58–73. [In Russ]
2. Stebnev A.V., Muhortikov S.G., Zadkov D.A. *Analiz raboty ochistnykh mekhanizirovannykh kompleksov v usloviyakh shaht AO «SUEK-KUZBASS». Innovatsii i perspektivy razvitiya gornogo mashinostroeniya i elektromekhaniki* [Analysis of the work of the treatment mechanized complexes in the conditions of the mines of JSC «SUEK-KUZBASS» the future and prospects of development of mining machinery and electromechanics]: IPDME-2017 : sb. nauch. tr. mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Nauchnye redaktery V.V. Maksarov, V.V. Gabov. 2017. pp. 84–89. [In Russ]
3. Nabatnikova T.Yu. Justification of plantings of connections for parts fittings water resistant. *Gornyy informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal)*. 2001. no 12. pp. 178–181. [In Russ]
4. Buyalich G.D., Buyalich K.G., Voyevodin V.V. Radial deformations of working cylinder of hydraulic legs depending on their extension. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2015. Vol. 91. no 012087. DOI:10.1088/1757–899X/91/1/012087. [In Russ]
5. Singh G.S. P., Singh U.K. Assessment of dynamic loading and rapid yield valve requirement for powered roof supports in longwall workings. *Mining Technology : IMM Transactions section A*. 2009. Vol. 118. no 1. pp. 47–52. [In Russ]
6. Szurgacz D., Brodny J. Dynamic Tests of a Leg in a Powered Roof Support Equipped with an Innovative Hydraulic System. E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 41. # 03019. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184103019>. [In Russ]
7. Buyalich G.D., Antonov Yu.A., Buyalich K.G., Kazancev M.V. Mathematical model of the process of dynamic collapse of the roof. *Gornyy informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal)*. 2012. Otd. vyp. 7 : Sovremennye tekhnologii na gornodobyvayushchih predpriyatiyah. pp. 233–237. [In Russ]
8. Uvakin S.V. To the question about the modal analysis of a water resistant of powered roof supports. *Ugol'*. 2016. no 7 (1084). pp. 53–55. [In Russ]
9. Nyemeck A., Ledauphin T. Experimental analysis of mechanical seals operating under thermal shock. *Sealing Technology*. 2015. Vol. 2015. No. 2. pp. 8–12. [In Russ]
10. Shangguan W., Liu T., Wang X., Xu C., Yu B. A method for modelling of fatigue life for rubbers and rubber isolators. *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures*. 2014. Vol. 37. No. 6. pp. 623–636. [In Russ]
11. Marco Y., Saux V.L., Jégou L., Launay A., Serrano L., Raoult I., Calloch S. Dissipation analysis in SFRP structural samples: Thermomechanical analysis and comparison to numerical simulations. *International Journal of Fatigue*. 2014. Vol. 67. pp. 142–150. [In Russ]
12. Masquelier I., Marco Y., Le Saux V., Calloch S., Charrier P. Determination of dissipated energy fields from temperature mappings on a rubber-like structural sample: Experiments and comparison to numerical simulations. *Mechanics of Materials*. 2015. Vol. 80. No. A. pp. 113–123. [In Russ]
13. Buyalich, G.D., Buyalich K.G. Modeling of Hydraulic Power Cylinder Seal Assembly Operation. *Mining 2014 : Taishan Academic Forum Project on Mine Disaster Prevention and Control : Chinese Coal in the Century: Mining, Green and Safety, China, Qingdao, 17–20 October 2014. Paris : Atlantis Press, 2014. P. 167–170. [In Russ]*
14. Korobejnikov S.N., Kurguzov V.D., Larichkin A.Yu., Olejnikov A.A. Computer modeling of elastomer deformation. *Izvestiya Altajskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2014. no 1. pp. 165–169. [In Russ]
15. Belkin A.E., Dashtiev I.Z., Kostromickih A.V. Determination of parameters of elasticity of the polyurethane at high strain test results of samples in torsion and tension. *Mashinostroenie*. 2016. no 8. pp. 3–10. [In Russ]
16. Belkin A.E., Dashtiev I.Z., Semenov V.K. Mathematical model of the viscoelastic behavior of polyurethane under compression, with moderately high speeds of deformation. *Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Ser. «Mashinostroenie»*. 2014. no 6. pp. 44–58. [In Russ]