УДК 622.285

DOI: 10.25018/0236-1493-2020-1-0-133-140

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ГИДРОСТОЕК ДВОЙНОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РАЗДВИЖНОСТИ

М.А. Бяков^{1,2}, Г.Д. Буялич², К.Г. Буялич², С.В. Увакин²

 AO «СУЭК-Кузбасс», Ленинск-Кузнецкий, Россия
 Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Кемерово, Россия, e-mail: gdb@kuzstu.ru

Аннотация: Приведены результаты расчетов напряженно-деформированного состояния гидростойки двойной гидравлической раздвижности механизированной крепи Јоу при максимальной вынимаемой мощности пласта и давлении рабочей жидкости 32 МПа с учетом коэффициента трения в опорах перекрытия и основания, допусков на изготовление рабочих цилиндров, поршней, грундбукс и штоков, а также с учетом перекосов штоков и цилиндров первой и второй ступеней, вызванных внецентренным характером приложения внешней нагрузки в опорах. Установлены величины перемещений сопрягаемых поверхностей, определяющих изменение уплотняемых зазоров, которые определяют работу манжет и герметичность гидростойки. При расчетах использовано оптимальное количество конечных элементов по толщине стенки рабочих цилиндров и обеспечена генерация регулярной сетки, которая в основном состоит из объемных шестигранников с восемью узлами. В результате расчетов гидростойки крепи Јоу при перпендикулярном расположении гидростойки относительно опор в основании и перекрытии было получено, что смещения линий, находящихся на диаметрально противоположных сторонах одноименных поверхностей, имеют различную величину, достигающую 0,2 мм, что сопоставимо с допуском на изготовление и указывает на соответствующее смещение продольной оси гидростойки, вызванное перекосами штоков и цилиндров.

Ключевые слова: гидравлическая стойка, механизированная крепь, метод конечных элементов, прочность, подземная добыча угля, очистной забой, герметичность, герметизируемый зазор, радиальные деформации рабочих цилиндров, двойная гидравлическая раздвижность, перекосы штоков и цилиндров.

Для цитирования: Бяков М. А., Буялич Г. Д., Буялич К. Г., Увакин С. В. Исследование радиальных деформаций гидростоек двойной гидравлической раздвижности // Горный информационно-аналитический бюллетень. − 2020. − № 1. − С. 133−140. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-1-0-133-140.

Radial strains in two-stage hydraulic extension legs

Byakov M.A.^{1,2}, Buyalich G.D.², Buyalich K.G.², Uvakin S.V.²

¹ AO «SUEK-Kuzbass», Leninsk-Kuznetsky, Russia ² T. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russia, e-mail: gdb@kuzstu.ru

Abstract: The article presents the stress–strain analysis results for a two-stage extensible hydraulic leg of powered roof support Joy case at the maximum seam height and hydraulic fluid pressure of 32 MPa with regard to friction coefficient in the supports of the canopy and base, fabrication tolerances of cylinders, pistons, main bushes and rods, as well as to misalignments of rods and cylinders

© М.А. Бяков, Г.Д. Буялич, К.Г. Буялич, С.В. Увакин. 2020.

of the first and second extension stages due to noncentral application of external load in the supports. The displacements of the joint surfaces, which govern the change in the sealed clearances that regulate operation of cups and proofness of the leg, are evaluated. The calculations involved the optimal number of finite element across the thickness of the wall of the cylinder; furthermore, generation of a regular mesh composed of 3D hexagons with 6 points was ensured. As a result, for the hydraulic leg of powered roof support Joy, given the leg is in vertical position relative to the canopy and base support, it is calculated that the displacements of the lines on the same but diametrally opposite surfaces have different values, up to 0.2 mm, which is comparable with the fabrication tolerance and points at the related displacement of the longitudinal axis of the leg due to misalignments of rods and cylinders.

Key words: hydraulic leg, powered roof support, finite element method, strength, underground coal mining, production face, proofness, sealed clearance, radial strain of cylinders, two-stage hydraulic extension, misalignments of rods and cylinders.

For citation: Byakov M. A., Buyalich G. D., Buyalich K. G., Uvakin S. V. Radial strains in two-stage hydraulic extension legs. MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. 2020;(1):133-140. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-1-0-133-140.

В настоящее время при подземной добыче угля наблюдается устойчивое направление повышения производительности очистных забоев с одновременным уменьшением их количества [1, 2]. В силу этих обстоятельств к надежности работы машин механизированных комплексов предъявляются повышенные требования.

Одной из основных таких машин является механизированная крепь, непосредственно воспринимающая горное давление и обеспечивающая безопасную работу как обслуживающего персонала, так и остальных машин комплекса. При этом основными силовыми элементами механизированной крепи являются гидростойки, представляющие из себя в большинстве случаев силовые гидроцилиндры с двойной гидравлической раздвижностью [3—5].

Долговечность сопряжений гидростоек, а также величина в них напряжений напрямую зависят от величины зазоров в сопрягаемых поверхностях [6].

В связи с этим получение достоверных данных о требуемых параметрах гидростойки, при которых она сохраняла бы свою работоспособность при различных вариантах условий эксплуатации,

является важной задачей, решение которой позволит обосновать конструктивные параметры и технические решения по совершенствованию конструкций гидравлических стоек для механизированных крепей [7—13].

Для решения этого вопроса была использована конечно-элементная модель, разработанная на кафедре горных машин и комплексов Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева (КузГТУ) [14].

Как и в гидростойке одинарной раздвижности, величина радиальных деформаций будет определяться углом установки ее в секции крепи, раздвижностью первой и второй ступеней, полями допусков на изготовление рабочих цилиндров, поршней, штоков и грундбукс (втулок) обеих ступеней раздвижности.

Эффект увеличения уплотняемого зазора, возникающий от перекосов штоков и рабочих цилиндров у гидростоек двойной гидравлической раздвижности, усиливается вследствие удвоения количества шарниров и плеч действия дополнительных сил. На рис. 1 приведена расчетная схема такой гидростойки, из которой следует, что для каждой ступени раздвижности деформации рабочих ци-

линдров складываются от действия давления рабочей жидкости Δp_1 и Δp_2 [15, 16] и от действия дополнительных сил $F_{\rm a1}$ и $F_{\rm B1}$, $F_{\rm a2}$ и $F_{\rm B2}$, возникающих в сочленениях «поршень — цилиндр» и «шток — грундбукса», которые вызваны углами перекосов штоков и цилиндров γ_1 , γ_2 и, в связи с этим, внецентренным приложением внешней нагрузки P. Величины углов перекосов и дополнительные силы в спряжениях определяются допусками на изготовление сопрягаемых деталей и соответствующими им зазорами $\Delta \gamma_1$ и

 $\Delta \gamma_2$, а также раздвижностями первой и второй ступеней гидростойки.

Внешняя нагрузка *P* на гидростойку возникает при воздействии на ее шток второй ступени и рабочий цилиндр первой ступени сферических опор перекрытия и основания механизированной крепи при сдвижении опускающихся пород кровли под действием горного давления.

Угол установки гидростойки α в секции крепи измеряется относительно перпендикуляра к плоскости пласта и за-

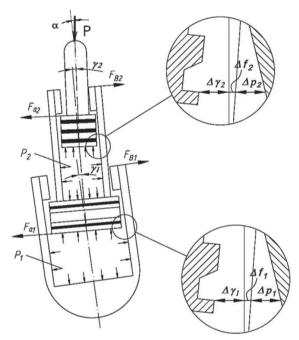


Рис. 1. Схема формирования уплотняемых зазоров при перекосах штоков и цилиндров первой и второй ступеней раздвижности: α — угол установки гидростойки в крепи; γ_1 , γ_2 — углы перекоса штока и цилиндра первой и второй ступеней; p_1 , p_2 — давление рабочей жидкости в рабочих цилиндрах первой и второй ступеней; P — внецентренная внешняя сила; $F_{\rm a1}$ и $F_{\rm B1}$, $F_{\rm a2}$ и $F_{\rm B2}$ — дополнительные силы, возникающие из-за перекоса первой и второй ступеней; $\Delta\gamma_1$, Δf_1 и Δp_1 , $\Delta\gamma_2$, Δf_2 и Δp_2 —зазоры между поршнем и рабочим цилиндром, вызванные, соответственно, полями допуска на изготовление, дополнительными силами из-за перекоса и воздействия давления рабочей жидкости в первой и второй ступенях

Fig. 1. Scheme of the sealed gap formation at the misalignment of rods and cylinders of the first and second extension stages: α — angle of hydraulic prop installation in the support; γ_1 , γ_2 — misalignment angles of the rod and cylinder of the 1st and 2nd stages; p_1 , p_2 — hydraulic oil pressure in the working cylinders of the 1st and 2nd stages; P — eccentric external force; P_{a1} and P_{B1} , P_{a2} and P_{B2} — additional forces appearing due to misalignment of the 1st and 2nd stages; $\Delta\gamma_1$, Δf_1 and $\Delta\rho_1$, $\Delta\gamma_2$, Δf_2 and $\Delta\rho_2$ — gaps between the piston and the working cylinder caused, respectively, by the tolerance ranges for manufacturing, by additional forces due to misalignment and the effect of hydraulic oil pressure in the 1st and 2nd stages

висит от конструктивных особенностей секции механизированной крепи и раздвижности гидростойки, которая определяется текущей вынимаемой мощностью пласта.

При построении твердотельной модели гидростойки все входящие в нее детали построены относительно общей оси симметрии, поэтому все поршни и рабочие цилиндры, штоки и грундбуксы (втулки) расположены друг относительно друга концентрично с равномерными зазорами между ними.

Для получения определенности конечно-элементного решения в процессе вычисления к модели прикладывается мягкая поперечная сила около 100 кг, которая не оказывает существенного влияния на окончательное решение (напряженно-деформированное состояние гидростойки).

Перед началом решения модель была подвергнута анализу на точность получаемого решения. В результате дополнительных исследований было получено, что количество прямоугольных конечных элементов по толщине рабочего ци-

линдра (а также и по толщине других цилиндрических деталей, таких, как втулки, гайки обеих ступеней раздвижности) должно быть не менее двух. При этом погрешность вычислений в интересующей нас области деформирования около манжетных уплотнений не превышает 0.5%.

Увеличение количества конечных элементов до трех не обеспечивает существенное повышение точности расчетов (прирост смещений цилиндрических поверхностей около 0,3%), однако существенно увеличивает количество элементов в целом и, соответственно, приводит к увеличению количества решаемых уравнений. Это может вызвать обратный эффект, заключающийся в накоплении ошибок округления в процессе конечно-элементного решения системы уравнений и, как следствие, привести к увеличению погрешности вычислений.

По этим же причинам, то есть с целью уменьшения общего количества элементов, были предприняты специальные меры для генерации регулярной сетки, смысл которой состоит в том, что

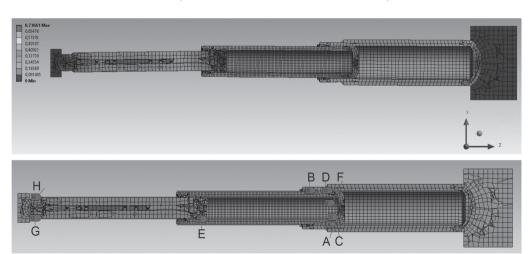


Рис. 2. Напряженно-деформированное состояние гидростойки крепи Јоу при давлении рабочей жидкости 32 МПа и расположение линий рабочих поверхностей цилиндров, поршней и штоков для определения смещений

Fig. 2. Stress-strain state of Joy support hydraulic prop at hydraulic oil pressure of 32 MPa and location of lines of working surfaces of cylinders, pistons and rods to determine the displacements



Рис. 3. Изменение перемещений поверхностей гидростойки: D — наружная поверхность цилиндра первой ступени, верхняя часть; B — наружная поверхность цилиндра второй ступени, верхняя часть; F — внутренняя поверхность цилиндра второй ступени, верхняя часть; H — верхняя часть поверхности штока; A — внутренняя поверхность цилиндра первой ступени, нижняя часть; C — наружная поверхность цилиндра второй ступени, нижняя часть; E — внутренняя поверхность цилиндра второй ступени, нижняя часть; E — внутренняя поверхность цилиндра второй ступени, нижняя часть поверхности штока

Fig. 3. Change in movements of hydraulic prop surfaces: D — external surface of the 1st stage cylinder, upper part; B — external surface of the 2nd stage cylinder, upper part; F — internal surface of the 2nd stage cylinder, upper part; H — upper part of the rod surface; A — internal surface of the 1st stage cylinder, lower part; C — external surface of the 2nd stage cylinder, lower part; E — internal surface of the 2nd stage cylinder, lower part; E — lower part of the rod surface

вся модель в основном состоит из объемных шестигранников с расположенными в углах восемью узлами, которые дают наибольшую точность получаемых результатов вычислений при минимальном количестве конечных элементов.

На рис. 2 приведены результаты расчетов напряженно-деформированного состояния гидростойки крепи Јоу при полной раздвижности обеих ступеней и давлении в поршневой полости первой ступени, соответствующему давлению начального распора от насосной станции (32 МПа). Там же, на нижнем рисунке, цветом выделены линии поверхностей, перемещения которых непосредственно оказывают влияние на образование дополнительных зазоров, в том числе и в области расположения манжетных уплотнений.

На рис. З приведены изменения перемещений точек линий верхних и нижних частей поршней, рабочих цилиндров

и штоков, помеченных на рис. 2 линиями с A по H.

Для удобствам интерпретации результатов вычисления Численные значения изменений перемещений определены в цилиндрической системе координат относительно общей оси симметрии гидростойки.

Из рис. З следует, что линии на нижних частях поверхностей гидростойки (линии D, B, F, H) имеют большие смещения по абсолютной величине, чем соответствующие им диаметрально расположенные линии на поверхностях верхних частей гидростойки (линии A, C, E, G).

Поскольку диаметры цилиндрических деталей гидростойки под действием давления рабочей жидкости увеличиваются равномерно (на одну и ту же величину), то разница между абсолютными значениями величин изменений радиусов относительно продольной оси симметрии гидростойки (горизонтальной оси «Коор-

дината продольной оси гидростойки, мм» на рис. 3), соответственно, показывает величину смещения оси, получаемой при перекосе штоков и цилиндров первой и второй ступеней раздвижности.

Анализ данных изменений перемещений точек поршней и рабочих цилиндров в области расположения манжетных уплотнений показывает, что увеличение зазора со стороны стенки рабочего цилиндра, противоположной направлению деформирования продольной оси гидростойки, достигает 0,2 мм, что сопоставимо с минимальным допуском на изготовление поршня и рабочего цилиндра второй ступени.

Это обстоятельство существенно ухудшает работу манжетного уплотнения из полиуретана, которое чувствительно к почти двукратному увеличению зазора, что неизбежно ведет к неправильной работе защитных колец, выдавливанию материала манжеты в уплотняемый зазор, закусыванию частичек уплотнения

между поршнем и цилиндром и его разрушению.

Кроме того, как показали многочисленные исследования, увеличение зазора ведет к уменьшению коэффициента запирания и контактных давлений уплотнения на сопрягаемые поверхности, что уменьшает надежность перекрытия микроканалов на поверхности рабочего цилиндра и уменьшает герметичность гидростойки в целом.

Полученные выше результаты расчета радиальных деформаций гидростоек двойной гидравлической раздвижности позволяют определить изменение уплотнительных зазоров в зависимости от конструктивных параметров гидростойки, угла ее установки в секции крепи, давления рабочей жидкости, которые сопоставимы с допусками на изготовление сопрягаемых деталей и которые могут существенно повлиять на работу манжетных уплотнений и состояние герметичности гидростойки.

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: сборник научных трудов международной научно-технической конференции. 2017. С. 84—89.
- 3. Novak P., Babjak J. Roof support control in longwall technology / 4th Coal Operators Conference, University of Wollongong, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy & Mine Managers Association of Australia. 2014. pp. 34–41.
- 4. Ralston J. C., Reid D. C., Dunn M. T., Hainsworth D. W. Longwall automation: Delivering enabling technology to achieve safer and more productive underground mining // International Journal of Mining Science and Technology. 2015. Vol. 25. Iss. 6. pp. 865—876.
- 5. *Umar C.* Behavior of shield support in longwall mining. Department of Mining Engineering, National Institute of Technology, Rourkela. 2014. 56 p.
- 6. Набатникова Т.Ю. Обоснование вида посадок соединений деталей в заделках гидростоек // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2001. № 12. С. 178—181.
- 7. Singh G.S. P., Singh U. K. Assessment of dynamic loading and rapid yield valve requirement for powered roof supports in longwall workings // Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology. 2009. Vol. 118. No 1. pp. 47—52.
- 8. 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. No 03019. DOI: 10.1051/e3sconf/20184103019.
- 9. Буевич В.В., Габов В.В., Задков Д.А., Кабанов О.В. Безимпульсное управление режимом работы гидростоек секций гидрофицированной крепи очистного механизированного комплекса // Горное оборудование и электромеханика. 2015. № 3 (112). С. 26—30.

- 10. Стебнев А. В., Буевич В. В. Совершенствование рабочей характеристики гидропривода стоек секций механизированных крепей очистных комплексов // Записки Горного института. Электромеханика и машиностроение. 2017. Т. 227. С. 576—581.
- 11. Буевич В. В., Габов В. В., Бабырь Н. В., Задков Д. А., Стебнев А. В. Адаптация секции механизированной крепи совершенствованием механической характеристики гидропривода ее гидростоек // Горное оборудование и электромеханика. 2016. № 3 (121). С. 28—34.
- 12. Gabov V.V., Zadkov D.A., Stebnev A.V. Evaluation of structure and variables within performance rating of hydraulically powered roof support legs with smooth roof control // Eurasian Mining. 2016, no 2, pp. 37–40.
- 13. Zeng X. T., Meng G. Y., Zhou J. H. Analysis on the pose and dynamic response of hydraulic support under dual impact loads // International Journal of Simulation Modelling. 2018, Vol. 17, No 1, pp. 69–80. DOI: 10.2507/IJSIMM17(1)412.
- 14. Буялич Г.Д., Бяков М.А., Буялич К.Г., Увакин С.В. Разработка модели для исследования шахтных гидравлических стоек двойной гидравлической раздвижности // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. СВ 65. С. 21—28. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-65-21-28.
- 15. Buyalich G. D., Buyalich K. G., Voevodin V. V. Radial strains of double-layer cylinders in hydraulic props of powered supports // Urgent problems of modern mechanical engineering. 2016. Vol. 127, p. 12034. DOI:10.1088/1757-899X/127/1/012034.
- 16. Buyalich G.D., Buyalich K.G., Byakov M.A. Factors determining the size of sealing clearance in hydraulic legs of powered supports // E3S Web of Conferences. The Second International Innovative Mining Symposium, 2017. Vol. 21. DOI: 10.1051/e3sconf/20172103018.

REFERENCES

- 1. Tarazanov I.G. Coal industry performance in Russia in January-December 2017. *Ugol'*. 2018, no 3, pp. 58–73. [In Russ].
- 2. Stebnev A.V., Mukhortikov S.G., Zadkov D.A. Operation of longwall systems in mines of SUEK-Kuzbass. *Innovatsii i perspektivy razvitiya gornogo mashinostroeniya i elektromekhaniki IPDME-2017: sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Innovations and prospects of development of mining engineering and electromechanics IP-DME-2017: proceedings of the international scientific and technical conference], 2017, pp. 84—89. [In Russ].*
- 3. Novak P., Babjak J. Roof support control in longwall technology. *4th Coal Operators Conference*, University of Wollongong, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy & Mine Managers Association of Australia. 2014. pp. 34—41.
- 4. Ralston J. C., Reid D. C., Dunn M. T., Hainsworth D. W. Longwall automation: Delivering enabling technology to achieve safer and more productive underground mining. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2015. Vol. 25. Iss. 6. pp. 865—876.
- 5. Umar C. Behavior of shield support in longwall mining. Department of Mining Engineering, National Institute of Technology, Rourkela. 2014. 56 p.
- 6. Nabatnikova T. Yu. Justification of mating fits for parts in sealing-in of hydraulic legs. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*'. 2001, no 12, pp. 178—181. [In Russ].
- 7. Singh G.S. P., Singh U. K. Assessment of dynamic loading and rapid yield valve requirement for powered roof supports in longwall workings. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology.* 2009. Vol. 118. No 1. pp. 47–52.
- 8. 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. No 03019. DOI: 10.1051/e3sconf/20184103019.
- 9. Buevich V. V., Gabov V. V., Zadkov D. A., Kabanov O. V. Pulse-free operating mode control for hydraulic legs of hydraulically powered roof support units within longwall system. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2015, no 3 (112), pp. 26—30. [In Russ].
- 10. Stebnev A.V., Buevich V.V. Improvement of performance data of hydraulic drive for powered roof support unit legs within longwall systems. *Zapiski Gornogo instituta. Elektromekhanika i mashinostroenie*. 2017. Vol. 227, pp. 576—581. [In Russ].

- 11. Buevich V.V., Gabov V.V., Babyr' N.V., Zadkov D.A., Stebnev A.V. Adaptation of powered roof support unit by improvement of mechanical data of its hydraulic leg drive. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2016, no 3 (121), pp. 28—34. [In Russ].
- 12. Gabov V.V., Zadkov D.A., Stebnev A.V. Evaluation of structure and variables within performance rating of hydraulically powered roof support legs with smooth roof control. *Eurasian Mining*. 2016, no 2, pp. 37–40.
- 13. Zeng X.T., Meng G.Y., Zhou J.H. Analysis on the pose and dynamic response of hydraulic support under dual impact loads. *International Journal of Simulation Modelling*. 2018, Vol. 17, No 1, pp. 69–80. DOI: 10.2507/IJSIMM17(1)412.
- 14. Buyalich G.D., Byakov M.A., Buyalich K.G., Uvakin S.V. Model to analyze hydraulic legs with two-stage extension in mines. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2018. Special edition 65, pp. 21–28. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-65-21-28.
- 15. Buyalich G.D., Buyalich K.G., Voevodin V.V. Radial strains of double-layer cylinders in hydraulic props of powered supports. *Urgent problems of modern mechanical engineering*. 2016. Vol. 127, p. 12034. DOI:10.1088/1757-899X/127/1/012034.
- 16. Buyalich G.D., Buyalich K.G., Byakov M.A. Factors determining the size of sealing clearance in hydraulic legs of powered supports. *E3S Web of Conferences. The Second International Innovative Mining Symposium*, 2017. Vol. 21. DOI: 10.1051/e3sconf/20172103018.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бяков Максим Анатольевич¹ — главный геолог, АО «СУЭК-Кузбасс», Буялич Геннадий Даниилович¹ — д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой, Буялич Константин Геннадьевич¹ — канд. техн. наук, доцент, Увакин Станислав Викторович¹ — аспирант ¹ Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева. Для контактов: Буялич Г.Д., e-mail: gdb@kuzstu.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

M.A. Byakov¹, Chief Geologist, AO «SUEK-Kuzbass», Leninsk-Kuznetsky, 652507, Russia, G.D. Buyalich¹, Dr. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Head of Chair, K.G. Buyalich¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, S.V. Uvakin¹, Graduate Student, ¹ T. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, Kemerovo, Russia. Corresponding author: G.D. Buyalich, e-mail: gdb@kuzstu.ru.

Получена редакцией 06.09.2019; получена после рецензии 14.10.2019; принята к печати 20.12.2019. Received by the editors 06.09.2019; received after the review 14.10.2019; accepted for printing 20.12.2019.

ГОРНЫЙ

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

(НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ)

MINING INFORMATIONAL AND ANALYTICAL BULLETIN

(SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL)



№ 1 2020

ГОРНЫЙ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ БЮЛЛЕТЕНЬ (НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ		В.Н. ОПАРИН	– член-корр. РАН, д.фм.н.,
Главный редактор			проф., ИГД им. Н.А. Чинакала СО РАН, Новосибирск
B.H. 3AXAPOB	- член-корр. РАН, д.т.н., проф., ИПКОН РАН, Москва	С.Н. ПОДОБРАЖИН	д.т.н., Ростехнадзор, Москва
Зам. главного реда			- член-корр. РАН, д.т.н., проф.,
В.Л. ШКУРАТНИК	- лтн проф	D D DVAELU(0	ИГД ДВО РАН, Хабаровск
5.7.1. E10171111111	МГИ НИТУ «МИСиС», Москва	В.В. РУДЕНКО	- д.т.н., проф., МГИ НИТУ «МИСиС», Москва
Н.А. ГОЛУБЦОВ	- руководитель рабочей группы	Г.П. СИДОРОВА	д.т.н., проф., ЗабГУ, Чита
	ГИАБ, изд-во «Горная книга»,	С.А. СИЛЮТИН	- к.т.н., СУЭК, Москва
	Москва	С.А. ЭПШТЕЙН	– д.т.н., проф.,
Члены редколлеги А.А. АБРАМОВ	и – д.т.н., проф.,		МГИ НИТУ «МИСиС», Москва
A.A. ADFAINIOD	– д.г.н., проф., МГИ НИТУ «МИСиС», Москва	МЕЖДУНАРОДНЫ	Й РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ
П.Б. АВДЕЕВ	- д.т.н., проф., ЗабГУ, Чита	А.В. АНЦИФЕРОВ	 член-корреспондент, Украина
В.Н. АМИНОВ	- д.т.н., проф., Петрозавод-	Ф.М. БОРОДИЧ	- Кардиффский университет,
C IA ADEVOOR	ский ГУ, Петрозаводск	// ADEEE11111TEAT	Великобритания
С.И. АРБУЗОВ	- д.гм.н., проф., Томский ПУ, Томск	К. ДРЕБЕНШТЕДТ	 Технического университета «Фрайбергская горная
В.А. АТРУШКЕВИЧ	- д.т.н., проф., МГИ НИТУ «МИСиС», Москва	Й. ДУБИНСКИ	академия», Германия
А.А. БАРЯХ	- академик РАН, д.т.н., проф.,	и. Дубипски	 Главный университет горного дела, Польша
	Пермь	В.Л. САВАТОРОВА	- Университет Невады,
С.П. БАХАЕВА	- д.т.н., проф., КузГТУ, Кемерово		Лас-Вегас, США
А.П. ВЕРЖАНСКИЙ	Harris, refer to the conference of	П.В. ЦЫБУЛЕНКО	- Белорусский национальный
С.Д. ВИКТОРОВ	мышленники России», Москва – д.т.н., проф., ИПКОН РАН,		технический университет, Белоруссия
о.д. винногов	Москва	ПАН ИШАН	 Аяонинский университет,
В.А. ВИННИКОВ	- д.фм.н., проф.,		Китай
D A FAAIZIALI	МГИ НИТУ «МИСиС», Москва	С. ВУЙИЧ	- Горный институт, Сербия
В.А. ГАЛКИН	- д.т.н., проф., НИИОГР, Челябинск	М. ДОБРОКА	 Мишкольцкий технический университет, Мишкольц,
В.И. ГАЛКИН	- д.т.н., проф.,		университет, Мишкольц, Венгрия
	МГИ НИТУ «МИСиС», Москва	П. КОНИЧЕК	- Институт геоники Чешской
А.Б. ЖАБИН	- д.т.н., проф., Тульский ГУ, Тула		Академии Наук, Острава, Чехия
Н.В. ЖУРАВЛЁВА	 д.т.н., Западно-Сибирский испытательный центр, 	С. ПРУСЕК	– Центральный Горный
	Новокузнецк	Ж. САНЧИДРИАН	институт, Катовице, Польша - Мадридский политехнический
Н.О. КАЛЕДИНА	- д.т.н., проф.,	/ (университет, Мадрид, Испания
	МГИ НИТУ «МИСиС», Москва	M. CAŁA	- Горно-металлургическая
Д.Р. КАПЛУНОВ	- член-корр. РАН, д.т.н., проф., ИПКОН РАН, Москва		Академия им. Станислава
Н.М. КАЧУРИН	– д.т.н., проф., Тульский ГУ, Тула		Сташица в Кракове, Краков, Польша
И.Л. КРАВЧУК	- д.т.н., Челябинский ф-л	Λ. TOTEB	Горно-геологический
	ИГД УрО РАН		университет «Св. Иван Рилски»,
С.С. КУБРИН	– д.т.н., проф., ИПКОН РАН,	E EADAOD	София, Болгария
М.В. КУРЛЕНЯ	Москва - академик РАН, д.т.н., проф.,	П. ПАВЛОВ	 Горно-геологический университет «Св. Иван Рилски»,
WI.D. ROTALIM	ИГД им. Н.А. Чинакала		София, Болгария
	СО РАН, Новосибирск		
А.А. ЛАВРИНЕНКО	– д.т.н., проф., ИПКОН РАН,	ПРЕДСТАВИТЕЛЬС	
Л.А. НАЗАРОВА	Москва - д.фм.н., ИГД им.	Дальний Восток	- N.O. PACCKA30B
A.A. HASAPUDA	Н.А. Чинакала СО РАН,	Карелия Монголия	– В.Н. АМИНОВ – П. ОЧИРБАТ
	Новосибирск	Тула	5 5
А.В. НАСТАВКИН	– к.гм.н., доцент, ЮФУ,	и Тульская область	
	Ростов-на-Дону	Урал	– А.А. БАРЯХ

MINING INFORMATIONAL AND ANALYTICAL BULLETIN

(SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL)

With assistance of the Publishing house «Mining book», Investment support Fund mining publishing

CHIEF EDITOR

V.N. ZAKHAROV – Corresp. Member of the RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russia

DEPUTY CHIEF EDITOR

V.L. SHKURATNIK – Dr. Sci. (Eng.), Prof., National University of Science and Technology «MISiS», Mining Institute, Moscow, Russia N.A. GOLUBTSOV - Publishing house «Mining book». Moscow, Russia

EDITORIAL BOARD

A.A. ABRAMOV - Dr. Sci. (Eng.), Prof., National University of Science and Technology «MISiS», Mining Institute, Moscow, Russia P.B. AVDEEV - Dr. Sci. (Eng.), Prof.,

Transbaikal State University, Chita, Russia V.N. AMINOV - Dr. Sci. (Eng.), Prof.,

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia S.I. ARBUZOV – Dr. of Geology and Mineralogy, Prof., Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

V.A. ATRUSHKEVICH - Dr. Sci. (Eng.), Prof., National University of Science and Technology «MISiS», Mining Institute, Moscow, Russia A.A. BARYAKH - Academician of the RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof.,

Mining Institute, Ural Branch, RAS, Perm, Russia

S.P. BAKHAEVA - Dr. Sci. (Eng.), Prof., Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russia S.A. EPSHTEIN – Dr. Sci. (Eng.), Prof., National University of Science and Technology «MISiS», Mining Institute, Moscow, Russia

V.A. GALKIN - Dr. Sci. (Eng.), Prof., Research and Design Institute for Open Pit Mining, Chelyabinsk, Russia V.I. GALKIN – Dr. Sci. (Eng.), Prof., National University of Science

and Technology «MISiS», Mining Institute, Moscow, Russia N.M. KACHURIN - Dr. Sci. (Eng.), Prof., Tula State University,

N.O. KALEDINA – Dr. Sci. (Eng.), Prof., National University of Science and Technology «MISiS», Mining Institute, Moscow, Russia D.R. KAPLUNOV - Corresp. Member of the RAS, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russia

I.L. KRAVCHUK - Dr. Sci. (Eng.), Chelyabinsk branch Mining Institute, Ural Branch, RAS, Chelyabinsk, Russia S.S. KUBRIN - Dr. Sci. (Eng.), Prof., Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russia M.V. KURLENYA - Academician of the RAS. N.A. Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, RAS, Novosibirsk, Russia A.A. LAVRINENKO – Dr. Sci. (Eng.), Prof., Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russia A.V. NASTAVKIN - Cand. of Geology and Mineralogy, Associate Prof., Head of Department, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

L.A. NAZAROVA - Dr. of Physics and Mathematics, N.A. Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, RAS, Novosibirsk, Russia V.N. OPARIN - Corresp. Member of the RAS. Siberian Branch, RAS, Novosibirsk, Russia S.N. PODOBRAZHIN - Dr. Sci. (Eng.), Russia Federal Service

for Ecological, Technological and Nuclear Supervision, Moscow, Russia

I.Yu. RASSKAZOV - Corresp. Member of the RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Institute of Mining, Far East Branch, RAS, Habarovsk, Russia V.V. RUDENKO – Dr. Sci. (Eng.), Prof., National University of Science and Technology «MISiS», Mining Institute, Moscow, Russia G.P. SIDOROVA – Dr. Sci. (Eng.), Prof., Transbaikal State University, Chita, Russia

S.A. SILÝUTIN - Cand. Sci. (Eng.), SUEK, Moscow, Russia A.P. VERZHANSKIY - Dr. Sci. (Eng.), Prof.,

Chief Executive Officer, Noncommercial Partnership

«Miners of Russia», Moscow, Russia

S.D. VIKTOROV - Dr. of Physics and Mathematics, Prof. Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russia

V.A. VINNIKOV - Dr. of Physics and Mathematics, Prof., National University of Science and Technology «MISiS», Mining Institute, Moscow, Russia

A.B. ZHABIN - Dr. Sci. (Eng.), Prof., Tula State University,

N.V. ZHURAVLEVA - Dr. Sci. (Eng.), West-Siberian Test Operations Center, Novokuznetsk, Russia

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

A. ANTSIFEROV - Ukrainian State Research and Design Institute of Mining, Geology, Rock Mechanics and Mine Surveying, Ukraine F. BORODICH - University of Cardiff, United Kingdom C. DREBENSTEDT - Technical University Bergakademie Freiberg,

J. DUBIŃSKY - Central Mining Institute, Poland V. SAVATOROVA - University of Nevada, Las Vegas, USA P. TSYBULENKO - Belarus National Technical University, Belarus PAN YISHAN - Liaoning University, China

S. VUJIC - Rudarski institut, Belgrade, Serbia M. DOBROKA - University of Miskolc, Miskolc, Hungary P. KONICEK - The Czech Academy of Sciences, Institute of Geonics Studentska, Ostrava, Czech Republic

S. PRUSEK - Central mining institute, Katowice, Poland José A. SANCHIDRIÁN - Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Spain

M. CAŁA – Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Krakow, Poland

L. TOTEV - University of Mining and Geology St Ivan Rislki, Sofia P. PAVLOV - University of Mining and Geology St Ivan Rislki, Sofia

Publishing house «Mining book» Actual address: Russia, Moscow, Leninskiy prospect, 6, build. 7 of. 3 Phone: +7 (499) 236-15-01, +7 (495) 737-32-64 E-mail: info@gornaya-kniga.ru, Internet: www.GIAB-online.ru Printed in JSC «First Exemplary printing house» Branch «Ćhekhov Printing House»



СОДЕРЖАНИЕ

Геотехнология

Сластунов С.В., Мазаник Е.В., Садов А.П., Хаутиев А.БМ. Технология глубокой дегазационной подготовки угольного пласта на базе его гидрорасчленения	5
через скважины с поверхности	5
ния угольного месторождения (на примере Буреинского угольного разреза)	15
Василец В.Н., Афанасьев П.И., Павлович А.А. Обеспечение условий безопасной	
эксплуатации горнотранспортного комплекса при воздействии сейсмовзрыв- ных волн	26
Колылов К.Н., Закоршменный И.М. Результаты экспериментальных исследова-	
ний по оперативному управлению очистным комбайном в высокопроизво-	
дительных лавах	36
Геомеханика, разрушение горных пород	
Лебедев М.О. Обоснование выбора метода расчета напряженно-деформирован-	
ного состояния крепей и обделок транспортных тоннелей	47
Оверченко М.Н., Мозер С.П., Толстунов С.А., Белин В.А. Влияние осевого воздуш-	
ного канала в скважинных зарядах эмульсионных взрывчатых веществ на эф-	64
фективность действия взрыва	61
Симонов П.С. Экспериментальное исследование дробления горной породы единичным ударом	71
Усанов С.В., Мельник В.В., Усанова А.В. Возобновление работы закрытого труб-	
чатого дренажа на открытых горных работах гидродинамическим способом	80
Рудничная аэрогазодинамика, горная теплофизика	
Кудряшов В.В., Кубрин С.С., Костеренко В.Н., Терешкин А.И. Проблемы пылевого контроля в угольных шахтах	89
Геоэкология	
Раимжанов Б.Р., Гайбуллаев Х.К., Байков В.Н. Намыв комбинированного противо-	
радиационного и противофильтрационного экранана хвостохранилище ГМЗ-1	
государственного предприятия «Навоийский ГМК»	99
Горнопромышленная геология, горная геофизика	
Колесниченко И.Е., Колесниченко Е.А., Любомищенко Е.И., Колесниченко Е.И.	
Механизм внезапных выбросов метанав угольных пластах	108
Татаркин А.В. Методика прогноза провалов земной поверхности на примере	
Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей	121
Горные машины	
Бяков М.А.,, Буялич Г.Д., Буялич К.Г., Увакин С.В. Исследование радиальных дефор-	
маций гидростоек двойной гидравлической раздвижности	133
Панфилова О.Р., Великанов В.С. Некоторые аспекты расчета и выбора парамет-	4 4 4
ров элементов металлоконструкций горнотранспортных машин	141

Обогащение полезных ископаемых

Бармин И.С. , Морозов В.В. , Поливанская В.В. Совершенствование реагентных	
режимов для извлечения фосфатных минералов из тонких классов руд и тех-	
ногенных продуктов	149
Воробьев А.Е., Чекушина Т.В., Каки Кристоф и др. Интенсификация кучного вы-	
щелачивания золота из тонкодисперсных руд с использованием нанотехно-	
логий	160
Сообщение о работе Пятого национального горнопромышленного форума	176
Специальные выпуски ГИАБ	
Карасев Г.Н. , Горн Е.В. , Снигирев В.В. и др. Научно-методическое обеспечение	
выбора и обоснования когенерационных технологий горного производства	35
Коллектив авторов Цифровые технологии в горном деле	120
Артемьев В.Б. , Лисовский В.В. , Галкин В.А. и др. Промышленная безопасность,	
охрана труда, экология и медицина труда в СУЭК: итоги 2018 года. Задачи	
2019 года. Культура, организация, безопасность и эффективность труда — ос-	
нова развития производства в АО «СУЭК»	175

ОРНЫЙИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙБЮЛЛЕТЕНЬ (ГИАБ)

Секретариат ГИАБ

Н.А. Голубцов, О.Н. Киреева

Рабочая группа:

Руководитель *Н.А. Голубцов* Подготовка макета *Л.В. Гречнева*

Дизайн оформления *В.Ю. Котов, Е.Б. Капралова* Инвестиционные проекты *Н.А. Голубцов, О.Н. Киреева*

Государственное свидетельство о регистрации ГИАБ в Роскомнадзоре ПИ № ФС77-70578 от 15.08.2017

Решением Президиума ВАК журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых могут быть опубликованы основные научные результаты диссертаций

на соискание ученой степени кандидата и доктора наук

Все статьи ГИАБ рецензируются.

Редакция принимает решение о публикации по результатам рецензирования и имеет право отклонить статью без объяснения причин

Статьи публикуются в авторской редакции При перепечатке ссылка на ГИАБ обязательна

Электронная версия ГИАБ на сайтах: www.GIAB-online.ru, www.e-library.ru, www.cyberleninka.ru, www.ebsco.com

Метаданные статей (DOI) представлены на сайте агентства цифровой стандартизации www.crossref.org Индексируется в международной базе данных Scopus

Подписной индекс издания

в каталоге агентства «Роспечать» - 46466

Подписано в печать 20.12.2019. Формат 70×100/16. Бумага офсетная.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 14,95. Тираж 1000 экз.

Изд № 3362-20. Заказ №

119049, Москва, Ленинский проспект, 6, издательство «Горная книга»

тел. (499) 236-15-01; (495) 737-32-64

Отпечатано в АО «Первая Образцовая типография» Филиал «Чеховский Печатный Двор» 142300, Московская область, г. Чехов, ул. Полиграфистов, 1 www.chpd.ru, e-mail: sales@chpd.ru, тел. 8 (499) 270-73-59







№ 1 2020