

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ШАХТНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СТОЕК ДВОЙНОЙ РАЗДВИЖНОСТИ

В работе дано описание конечно-элементной модели, разработанной для проведения исследований влияния параметров гидравлических стоек двойной гидравлической раздвижности механизированных крепей при отработке угольных пластов подземным способом. Модель позволяет рассчитать деформационные и прочностные характеристики гидростоек при различных видах нагружения, конструктивных и геометрических параметрах рабочих цилиндров, поршней, штоков и втулок первой и второй ступеней раздвижности, конструкций опор в перекрытии, основании и коэффициентов трения в их сопрягаемых поверхностях, а также в зависимости от угла установки гидростоек в секции крепи, зависящего от конструкции крепи и её текущей раздвижности (мощности пласта). С помощью данной модели возможно производить статический и динамический анализы конструкции гидростойки на прочность и устойчивость, а также проводить модальный анализ для оценки частот собственных колебаний.

Ключевые слова: гидравлическая стойка, механизированная крепь, метод конечных элементов, прочность, устойчивость, модальный анализ, частота собственных колебаний, подземная добыча угля, очистной забой.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-65-21-28

Основной тенденцией при подземной добыче угля в последние десятилетия является снижение общего количества комплексно-механизированных забоев с одновременным резким увеличением их производительности. При том, что это явление сопровождается ухудшением горно-геологических условий работы комплексов [1, 2]. Так, в компании по добыче угля СУЭК-Кузбасс в июле 2017 года на шахте имени В. Д. Ялевского была достигнута рекордная месячная добыча угля из одного забоя в 1500 тыс. т. Всё это накладывает повышенные требования к 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, работоспособность которых определяет работу комплекса в целом [3–5].

ISSN 0236–1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 12 (специальный выпуск 65). С. 21–28.

© Г.Д. Буялич, М.А. Бяков, К.Г. Буялич, С.В. Увакин, 2018.

Для проведения исследований по определению наиболее рациональных параметров гидростоек в конкретных горно-геологических условиях эксплуатации разработана специальная параметрическая конечно-элементная модель, которая предназначена для последующей передачи в соответствующие программы с целью проведения различных видов анализов.

Особенности и допущения при построении 3D модели гидростойки заключаются в следующем. Сопряжения между подвижными элементами гидростойки задаются с помощью контактных пар с возможностью скольжения друг относительно друга. Это сопряжения между цилиндрическими поверхностями поршней и рабочих цилиндров I и II ступеней раздвижности, а также между цилиндрическими поверхностями штоков и втулок обеих ступеней раздвижности. Для упрощения модели резьбовые соединения поверхностей втулок и соответствующих поверхностей рабочих цилиндров заменяются цилиндрическими поверхностями, которые выполнены с возможностью отрыва, но без возможности продольного скольжения.

Действие рабочей жидкости заменено давлением на соответствующие поверхности с учётом раздвижности I и II ступеней. Численное значение этого давления определяется в соответствии с технической документацией, при этом давление в поршневой полости II ступени пропорционально соотношению площадей поршней при наличии в конструкции гидростойки донного клапана.

Конструкции верхней (в перекрытии) и нижней (в основании) опор предусматривают поворот относительно них, соответственно, штока и дна рабочего цилиндра I ступени при заданном в сопряжениях коэффициенте трения.

Конструктивные размеры сопрягаемых подвижных в продольном направлении поверхностей (рабочих цилиндров, поршней, штоков, втулок) задаются с учётом посадок при сборке деталей, т.е. с учётом полей допусков. При этом появляется возможность оценить параметры нагружения в зависимости от числовых значений полей допусков. Как показали исследования Т.Ю. Набатниковой из МГГИ [6] от величины зазора между сопрягаемыми поверхностями, которые определяются посадками, зависит величина напряжений и, соответственно, долговечность сопряжения. Ею были получены зависимости вероятности возникновения критических нагружений от изменения зазора в соединениях «цилиндр — поршень» и «втулка — шток», в соответствии с которыми при переходе с посадок H7/h7 на H9/h9 вероятность критических нагружений уменьшается с 37,7 % до 4,9 %, а при переходе с посадок H8/f8 на посадки H9/f9 — вероятность увеличивается с 0 до 0,3 %. Уменьшение поля допуска повышает долговечность гидростойки, однако предъявляет более жёсткие требования к их изготовлению.

В качестве параметров модель позволяет задавать следующие величины:

- свойства материалов деталей — модуль упругости, коэффициент Пуассона, удельный вес, коэффициент трения);
- геометрические размеры рабочих цилиндров — номинальные диаметры, толщина стенки, длина, допуски на изготовление, раздвижность (определяет область приложения давления рабочей жидкости);
- геометрические размеры поршней — номинальные диаметры, поля допусков, длины, количество и расположение канавок под манжетные уплотнения и их геометрические размеры (глубина, ширина, радиусы сопряжения);
- геометрические размеры втулок и штоков — номинальные диаметры и поля допусков;
- коэффициенты трения для опор в сопрягаемых деталях.

Подвижные сопряжения шаровых опор гидростойки с опорами перекрытия и основания позволяют им с учётом коэффициента трения поворачиваться друг относительно друга под действием внецентренных нагрузок (усилий) при установке гидростойки в секцию крепи под углом к перекрытию и основанию.

Под действием таких сил возникают перекосы между штоками и цилиндрами, в результате которых возникают дополнительные деформации стенок цилиндров, увеличивая зазоры, подлежащие уплотнению (рис. 1) и усложняя работу манжетных уплотнений [7].

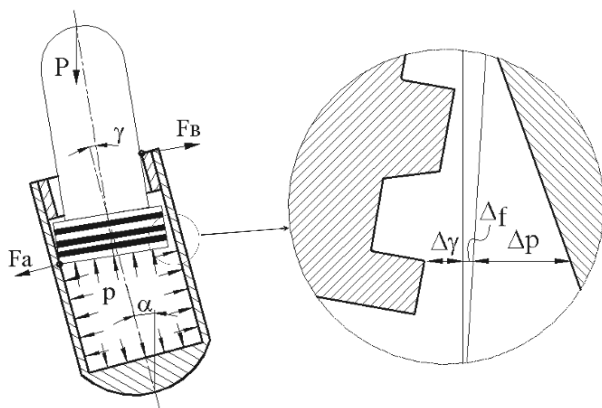


Рис. 1. Схема образования уплотняемого зазора при перекосе штока и цилиндра:

α — угол установки гидростойки в секции крепи; γ — угол перекоса штока и цилиндра; p — давление рабочей жидкости; P — внецентренная внешняя сила; F_a и F_b — дополнительные силы, возникающие из-за перекоса; $\Delta\gamma$, Δf и Δp — зазоры между поршнем и рабочим цилиндром, вызванные, соответственно, полями допуска на изготовление, дополнительными силами из-за перекоса и воздействием давления рабочей жидкости

Для решения конкретной модели последовательно производят пробные решения, в результате которых находят наиболее нагруженные области, в которых адаптируют параметры сетки конечных элементов (изменение размеров или типа элементов). Этот итерационный процесс повторяют до тех пор, пока не получают требуемую точность сходимости решения модели.

Поскольку в модели гидростойки используются, в основном, тела вращения, то для уменьшения погрешности вычислений и улучшения сходимости решения в модели рекомендуется генерация регулярной сетки с осесимметричными элементами.

На основании проведённых авторами исследований было получено, что количество элементов регулярной сетки по толщине рабочего цилиндра должно быть не менее трёх. Больше же их количество не ведёт к существенному увеличению точности вычислений, но ведёт к увеличению количества элементов и увеличению накопленной погрешности [8].

Построенная трёхмерная твёрдотельная модель гидростойки даёт возможность передавать её в другие модули (другие программы) для последующих анализов посредством конвертирования модели через общие форматы данных. Например, такая модель позволяет определить частоты собственных колебаний как отдельной гидростойки, так и в составе секции крепи, а также совместно с породами кровли и угольным пластом. Это позволяет оценить вероятность возникновения резонансных явлений в конструкциях гидростоек и крепи при первичных и вторичных осадках пород кровли и по воздействию рядом работающих других машин комплекса.

При передаче построенной конечно-элементной модели в такие программные комплексы, как LS-DYNA, ANSYS CFD, ANSYS Fluent и др. появляется возможность оценить работу гидростоек при динамических осадках основной кровли, характеризующихся колебательными процессами, большими скоростями опускания кровли (до 3,5 м/с) и забросами давления в поршневых полостях (свыше 100 МПа), в следствие дросселирования рабочей жидкости, проходящей по каналам гидроблока и предохранительного клапана. Такие исследования позволяют обосновать параметры и конструкцию предохранительных и управляющих устройств [9–15].

На рис. 2 приведён пример расчёта по описанной выше методике гидростойки двойной гидравлической подвижности для крепи М138.

Разработанная конечно-элементная модель гидростойки двойной гидравлической подвижности позволяет производить моделирование нагруженности всех её элементов, а также комплексно оценить величину уплотнительных зазоров, подлежащих герметизации, при различных конструктивных особенностях гидростойки, её геометрических и силовых параметрах, различных схемах установки в секции крепи в заданных горно-геологических условиях залегания пласта.

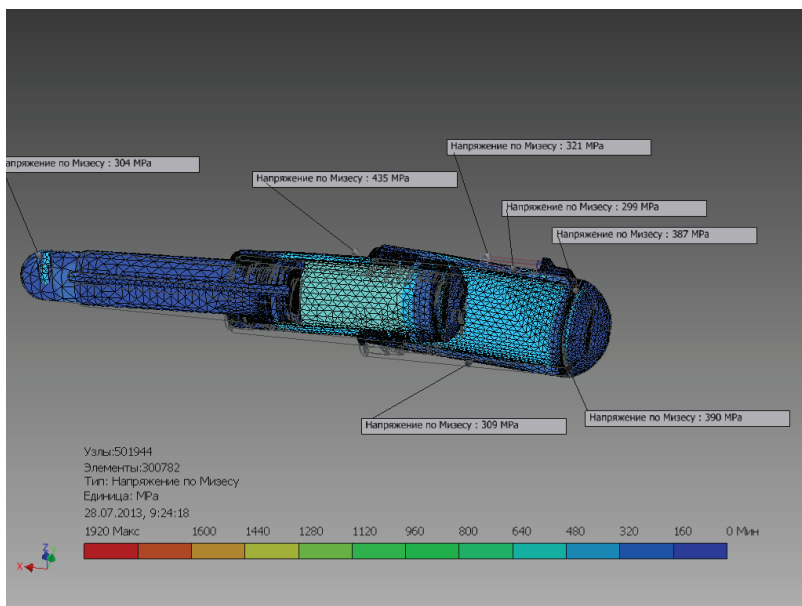


Рис. 2. Напряжённо-деформируемое состояние гидростойки M138 при номинальном рабочем сопротивлении

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таразанов И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2017 года // Уголь. — 2018. — по 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. Максаров, В.В. Габов. — 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. — по 12. — С. 178–181.

7. *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.*

8. *Буялич, Г.Д. Воеводин В.В., Буялич К.Г. Оценка точности конечно-элементной модели рабочего цилиндра гидростойки крепи // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2011. — Отд. вып. 2 : Горное машиностроение. — С. 203–206.*

9. *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.*

10. *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>.*

11. *Бувевич 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. — no 3 (112). — С. 26–30.*

12. *Бувевич 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. — no 3 (121). — С. 28–34.*

13. *Gabov V.V., Zadkov D.A. Evaluation of structure and variables within performance rating of hydraulically powered roof support legs with smooth roof control // Eurasian Mining. — 2016. — no 1. — С. 37–40.*

14. *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.*

15. *Zeng X.T., Meng G.Y., Zhou J.H. Analysis on the pose and dynamic response of hydraulic support under dual impact loads // IJSIMM17. — 2018. — Vol. 1. — p.69–80. — DOI: [https://doi.org/10.2507/IJSIMM17\(1\)412](https://doi.org/10.2507/IJSIMM17(1)412). **ГИАБ***

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Буялич Г.Д. — доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой, gdb@kuzstu.ru;

Бяков М.А.^{2,1}, главный геолог;

Буялич К.Г.¹ — кандидат технических наук, доцент;

Увакин С.В.¹ — аспирант;

¹ 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;

² АО «СУЭК-Кузбасс», Россия, Кемеровская обл., г. Ленинск-Кузнецкий, ул. Васильева, 1.

Buyalich G.D., Byakov M.A., Buyalich K.G., Uvakin S.V.

Development of the model for the study of double-extension mine hydraulic props

The study presents the description of the finite element model developed for the implementation of studies of the impact of the double-extension hydraulic prop parameters on the props behavior under load in underground coal seam mining. The model makes it possible to perform calculation of deformation and strength parameters of hydraulic props for various types of loading, structural and geometric parameters of the working cylinders, pistons, rods and bushings of the first and second extension stages, the design of supports in the canopy, the base and the coefficients of friction in their mating surfaces, and depending on the angle of hydraulic prop installation in the support section, which depends on the design of the support and its current extension (seam thickness). With the help of this model, it is possible to perform static and dynamic analyses of strength and stability of a hydraulic prop design, and also to conduct a modal analysis to assess the free frequencies.

Keywords: hydraulic prop, powered support, finite element method, strength, stability, modal analysis, free frequency, underground coal mining, production coal face.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-65-21-28

AUTHORS

*Buyalich G.D.*¹, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of Department, email: gdb@kuzstu.ru;

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

*Buyalich K.G.*¹, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor;

*Uvakin S.V.*¹, a post-graduate student;

¹ 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;

² AO «SUEK-Ruzbass», 1, Vasilev street, Leninsk-Kuznetsky, Kemerovo region, 652507, Russia.

REFERENCES

1. Tarazanov I.G. Results of the Russian coal industry in January-December 2017. *Ugol'*. 2018. no 3. S. 58-73. [In Russ]

2. Stebnev A.V., Muhortikov S.G., Zadkov D.A. *Analiz raboty ochistnykh mekhanizirovannykh kompleksov v usloviyakh shah'ta AO «SUEK-KUZBASS»*. *Innovacii 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 redaktory V.V. Maksarov, V.V. Gabov. 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. [In Russ]

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. [In Russ]
5. Umar C. Behavior of shield support in longwall mining / Department of Mining Engineering National Institute of Technology Rourkela. 2014. 56 p. [In Russ]
6. Nabatnikova T.Yu. Justification of plantings of connections for parts fittings water resistant. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal)*. 2001. no 12. pp. 178–181. [In Russ]
7. 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]
8. Buyalich, G.D. Voevodin V.V., Buyalich K.G. Bralic accuracy Evaluation of the finite element model of cylinder water resistant lining. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal)*. 2011. Otd. vyp. 2 : Gornoe mashinostroenie. pp. 203–206. [In Russ]
9. 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]
10. 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]
11. Buevich V.V., Gabov V.V., Zadkov D.A., Kabanov O.V. Businessno management mode of operation water resistant lining of hydraulic sections of the clearing mechanized complex. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2015. no 3 (112). pp. 26–30. [In Russ]
12. Buevich V.V., Gabov V.V., Babyr' N.V., Zadkov D.A., Stebnev A.V. Adaptation of powered roof support section to improve the mechanical characteristics of the hydraulic drive it water resistant. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2016. no 3 (121). pp. 28–34. [In Russ]
13. Gabov V.V., Zadkov D.A. Evaluation of structure and variables within performance rating of hydraulically powered roof support legs with smooth roof control. *Eurasian Mining*. 2016. no 1. S. 37–40. [In Russ]
14. Buyalich G.D., Antonov Yu.A., Buyalich K.G., Kazancev M.V. Mathematical model of the process of dynamic collapse of the roof. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal)*. 2012. Otd. vyp. 7 : Sovremennye tekhnologii na gornodobyvayushchih predpriyatiyah. pp. 233–237. [In Russ]
15. Zeng X.T., Meng G.Y., Zhou J.H. Analysis on the pose and dynamic response of hydraulic support under dual impact loads. *IJSIMM17*. 2018. Vol. 1. p.69–80. DOI: [https://doi.org/10.2507/IJSIMM17\(1\)412](https://doi.org/10.2507/IJSIMM17(1)412). [In Russ]

