

УДК 622.285

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ГИДРОСТОЕК МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ

Бяков М. А., аспирант, Буялич Г. Д., профессор, Буялич К. Г., доцент  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

*Аннотация:* в статье дан анализ методики расчёта уплотнения в плоской постановке задачи и рассмотрена методика расчёта методом конечных элементов трёхмерного уплотнительного элемента гидростойки механизированной крепи.

*Ключевые слова:* механизированная крепь, гидростойка, уплотнение, метод конечных элементов, герметичность.

Под действием внешних нагрузок различного характера, вызванными, в основном, динамическими обрушениями пород кровли [1–3], происходят забросы давления рабочей жидкости в поршневой полости гидростоеек механизированной крепи, вызванные большими скоростями и смещениями кровли [4–8], которые сопровождаются большими радиальными деформациями рабочего цилиндра и определяются как силовыми параметрами крепи [9, 10], так и распределением сопротивления по ширине призабойного пространства [11]. В общем, на величину уплотняемого зазора влияет множество факторов [12].

Расчёты деформаций рабочего цилиндра методом конечных элементов [13–17] показывают, что при различных схемах нагружения гидростойки радиальные деформации цилиндра в области манжетного уплотнения могут достигать критических значений.

Для количественной оценки эффективности работы уплотнения в работах [18, 19] разработаны критерии, основным из которых является коэффициент запирания рабочей жидкости:

$$K_{зп} = \frac{\bar{p}_k}{p}, \quad (1)$$

где  $\bar{p}_k$  – среднее контактное давление по уплотняемой поверхности, МПа;

$p$  – давление рабочей жидкости, МПа.

По рекомендациям [20] этот коэффициент должен быть более единицы.

В работах [21–24] рассмотрена методика расчёта манжетного уплотнения в плоской постановке. Суть этой методики заключается в том, что предварительный натяг манжеты достигается перемещениями поверхностей контакта с уплотнением канавки поршня и рабочего цилиндра в радиальном

направлении (рис. 1), после чего к уплотнению прикладывается давление рабочей жидкости и определяются контактные давления и распределение напряжений.

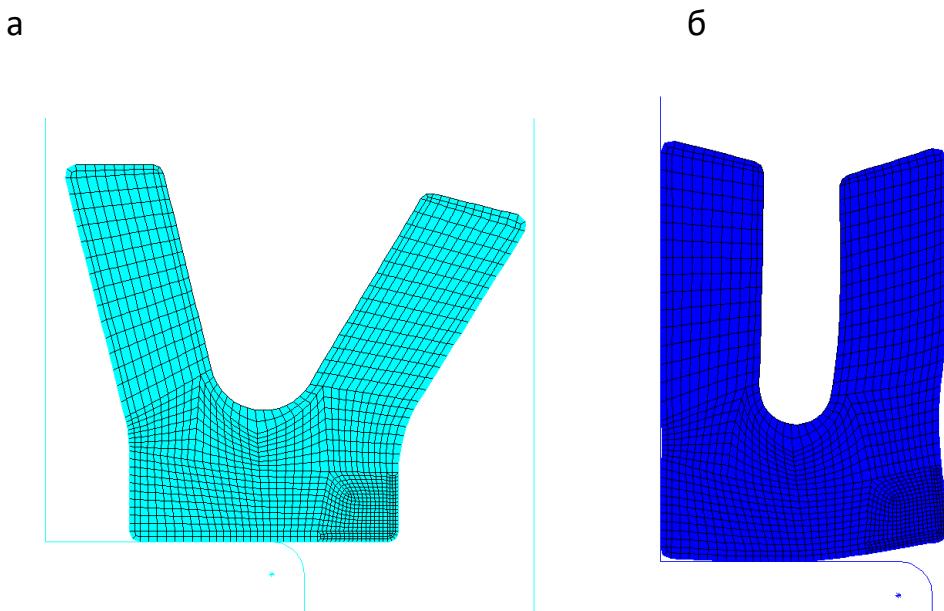


Рис. 1. Исходная (а) и деформированная после сборки (б) модели для манжетного уплотнения по ГОСТ 6678-72

Однако плоская постановка решения этой задачи методом конечных элементов даёт понимание качественной картины происходящего процесса уплотнения зазора и приводит к погрешности полученного результата, так как не учитывает поведение реальной конструкции уплотнения.

В настоящее время современные уплотнения механизированных крепей представляют из себя сложную конструкцию, состоящую из нескольких элементов (например, изображённую на рис. 2). Такое уплотнение является двустороннего действия и, как правило, содержит два радиальных кольца из разных материалов и двух упорных ограничительных колец, расположенных по обе стороны колец в осевом направлении [25].

Точный расчёт такой конструкции методом конечных элементов требует его проведения в объёмной постановке. При этом перемещение поверхностей внутренней канавки и рабочего цилиндра, как в методике для решения плоской задачи, не представляется возможным из-за невозможности обеспечения больших деформаций стальных поршня и цилиндра, которые соответствовали бы деформациям уплотнения при монтаже в поршень (натягивание) и в рабочий цилиндр (обжатие).

В данной работе предлагается методика расчёта трёхмерного уплотнения методом конечных элементов для последующего анализа его работы в различных условиях.

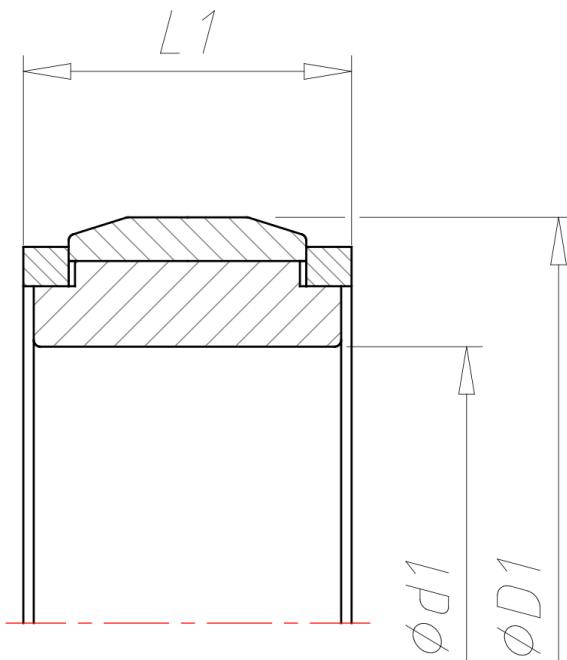


Рис. 2. Основные габаритные размеры уплотнения HALLITE 2363610

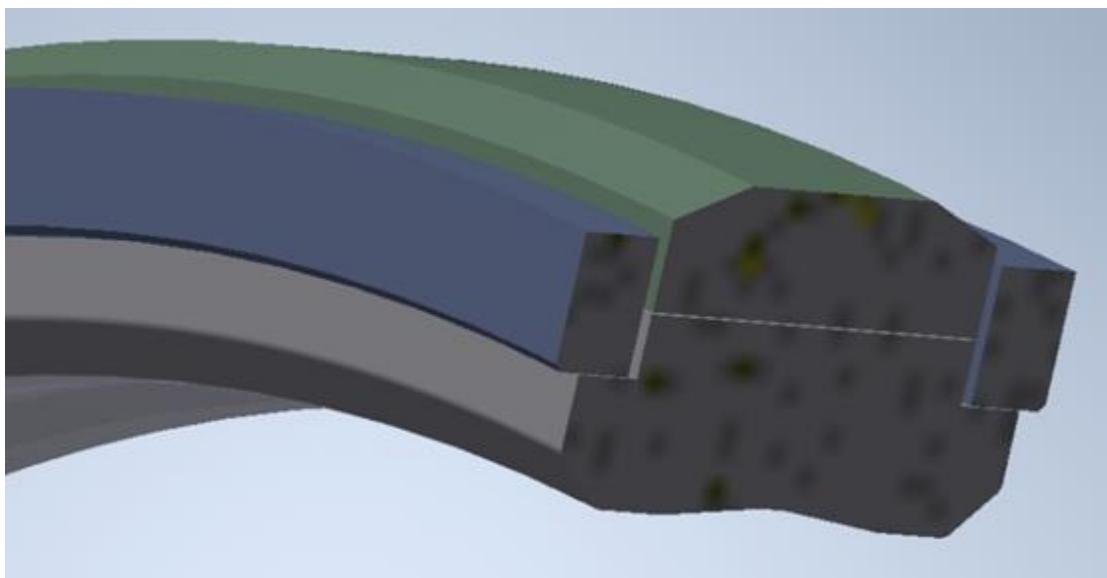


Рис. 3. Трёхмерная модель уплотнения HALLITE 2363610

Для имитации деформаций уплотнения при его монтаже в объёмной модели сопряжения поршня и рабочего цилиндра для определения предварительных натягов (деформаций) предлагается следующая методика.

Для обеспечения обжатия уплотнения в трёхмерном варианте на первом этапе расчёта уплотнение перемещают в осевом направлении между двумя конусами, один из которых с увеличивающимся диаметром от внутреннего диаметра манжеты в свободном состоянии до диаметра посадочной поверхности канавки поршня, а другой – с уменьшающимся диаметром от наружного диаметра манжеты в свободном состоянии до внутреннего

диаметра рабочего цилиндра. Результат этой операции приведён на рис. 4.

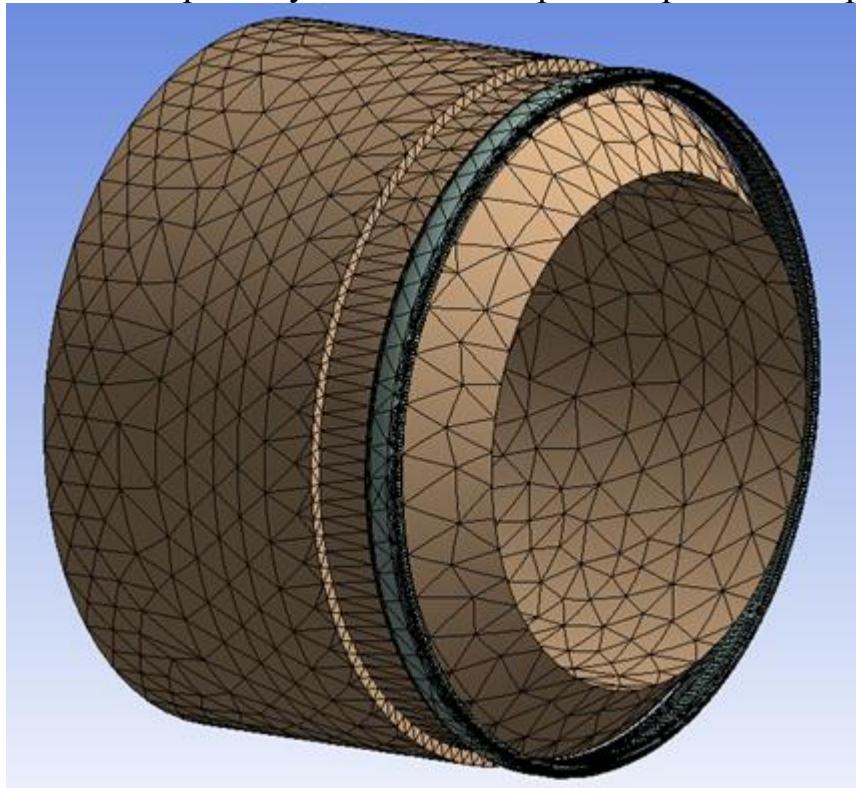


Рис. 4. Трёхмерная модель уплотнения HALLITE 2363610 после установки в поршень

На втором этапе расчёта методом конечных элементов к поверхностям уплотнения, контактирующим с рабочей жидкостью поршневой полости гидростойки прикладывается соответствующее давление.

По результатам двух этапов расчёта методом конечных элементов определяется контактное давление по уплотняющим поверхностям уплотнения, взаимодействующими с поверхностями поршня и рабочего цилиндра.

Затем в соответствии с критерием (1) вычисляется коэффициент запирания, по которому делается вывод о герметичности соединения.

Рассмотренная в данной работе методика позволяет с высокой точностью производить моделирование работы уплотнительного узла, учитывающего предварительные натяги (деформации) при сборке и деформации, достигаемые при герметизации уплотнительного зазора под действием давления рабочей жидкости в поршневой полости гидростойки крепи.

#### Список литературы

1. О модели динамического взаимодействия крепи с кровлей / Г. Д. Буялич, Ю. А. Антонов, К. Г. Буялич, М. В. Казанцев, В. М. Римова // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2012 : материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф., Кемерово, 1–2 нояб. 2012 г. В 2-х т. Т. 1. /

КузГТУ. – Кемерово, 2012. – С. 149–153.

2. Математическая модель процесса динамического обрушения кровли / Г. Д. Буялич, Ю. А. Антонов, К. Г. Буялич, М. В. Казанцев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № S7. – С. 233–237.

3. Буялич, Г. Д. Моделирование динамических колебаний блока кровли / Г. Д. Буялич, К. Г. Буялич, В. Ю. Умрихина // Инновации в технологиях и образовании : сб. ст. VII Междунар. науч.-практ. конф., Белово, 28–29 марта 2014 г. В 4 ч. Ч. 1 /Филиал КузГТУ в г. Белово. – Белово, Велико Тырново : Изд-во филиала КузГТУ в г. Белово, изд-во ун-та «Св. Кирилла и Св. Мефодия», 2014. – С. 115–119.

4. Study of Falling Roof Vibrations in a Production Face at Roof Support Resistance in the Form of Concentrated Force / Buyalich G. D., Buyalich K. G., Umrikhina V. Yu. // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2016. – Vol. 142: VII International Scientific Practical Conference «Innovative Technologies in Engineering». – # 012120. – DOI:10.1088/1757-899X/142/1/012120.

5. Буялич, Г. Д. О форме динамических колебаний блока кровли при реакции крепи в виде сосредоточенной силы / Г. Д. Буялич, К. Г. Буялич, В. Ю. Умрихина // Перспективы инновационного развития угольных регионов России : сб. тр. IV Междунар. науч.-практ. конф., Прокопьевск, 4–5 марта 2014 г. – Прокопьевск : изд-во филиала КузГТУ в г. Прокопьевск, 2014. – С. 133–134.

6. Буялич, Г. Д. О динамических колебаниях блока кровли при реакции крепи в виде распределенной нагрузки / Г. Д. Буялич, К. Г. Буялич, В. Ю. Умрихина // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности : сб. тр. XVI Междунар. науч.-практ. конф., Кемерово, 7–10 окт. 2014 г. [Электронный ресурс] – Кемерово : СО РАН, КемНЦ СО РАН, ИУ СО РАН, Кузбас. гос. техн. ун-т, ООО КВК «ЭкспоСибирь», 2014. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Загл. с этикетки диска. – С. 108–110. – ISBN 978-5-902305-42-2.

7. Буялич, Г. Д. Исследование работы предохранительного клапана ЭКП в период резких осадок кровли / Г. Д. Буялич, Ю. М. Леконцев, Б. А. Александров // Механизация горных работ : межвуз. сб. науч. тр. / Кузбас. политехн. ин-т. – Кемерово, 1978. – Вып. 2. – С. 49–55.

8. Буялич, Г. Д. Оценка характера взаимодействия крепи с труднообрушаемой кровлей // Совершенствование технологических процессов при разработке месторождений полезных ископаемых : сб. науч. тр. / Ассоциация «Кузбассуглегеология». – Кемерово, 1995. – № 9. – С. 35–37.

9. Александров, Б. А. Влияние начального распора механизированной крепи на частоту и интенсивность резких осадок кровли / Б. А. Александров, Г. Д. Буялич, Ю. А. Антонов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2002. – № 6. – С. 21–22.

10. Буялич, Г. Д. Механизм взаимодействия механизированных

крепей с кровлями угольных пластов / Г. Д. Буялич, Ю. А. Антонов, В. И. Шейкин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № S3. – С. 122–125.

11. Повышение сопротивления консолей механизированной крепи / Г. Д. Буялич, Б. А. Александров, Ю. А. Антонов, В. В. Воеводин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2000. – № 5. – С. 82–87.

12. Factors determining the size of sealing clearance in hydraulic legs of powered supports / Buyalich G., Buyalich K., Byakov M. // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2017. – Vol. 21 : The second international innovative mining symposium. – # 03018. – 7 p. – DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172103018>.

13. Буялич, Г. Д. Определение деформаций рабочего цилиндра шахтной гидростойки / Г. Д. Буялич, В. В. Воеводин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – Кемерово, 2000. – № 6. – С. 70–71.

14. Буялич, Г. Д. Оценка точности конечно-элементной модели рабочего цилиндра гидростойки крепи / Г. Д. Буялич, В. В. Воеводин, К. Г. Буялич // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № S2. – С. 203–206.

15. Буялич, Г. Д. Определение количества элементов модели по толщине стенки силового гидроцилиндра / Г. Д. Буялич, В. В. Воеводин, К. Г. Буялич // Инновационные технологии и экономика в машиностроении : сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. с элементами науч. шк. для молодых ученых, ЮрГа, 20–21 мая 2010 г. / ЮрГ. технолог. ин-т. – Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2010. – С. 516–518.

16. Radial deformations of working cylinder of hydraulic legs depending on their extension / Buyalich G.D., Buyalich K.G., Voyevodin V.V. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2015. – Vol. 91. – # 012087. – DOI:10.1088/1757-899X/91/1/012087.

17. Radial Strains of Double-layer Cylinders in Hydraulic Props of Powered Supports / Buyalich G. D., Buyalich K. G., Voevodin V. V. // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2016. – Vol. 127: YIT-UPMME 2015. – # 012034. – DOI:10.1088/1757-899X/127/1/012034.

18. Буялич, К. Г. Критерии оценки качества работы уплотнения гидростойки механизированной крепи // Горное оборудование и электромеханика. – 2009. – № 5. – С. 8–10.

19. Буялич, К. Г. Оценка параметров герметичности гидростоек механизированных крепей : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.06 / Буялич Константин Геннадьевич. – Кемерово, 2012. – 19 с.

20. Макаров, Г. В. Уплотнительные устройства. – М., Л. : Машиностроение, 1965. – 200 с.

21. Буялич, Г. Д. Анализ работы уплотнений гидростоек механизированных крепей / Г. Д. Буялич, К. Г. Буялич // Горный

информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № S7. – С. 238–248/

22. Buyalich, G. D. Modeling of Hydraulic Power Cylinder Seal Assembly Operation / Buyalich G. D., Buyalich K. G. // 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. – Amsterdam – Paris – Beijing : Atlantis Press, 2014. – P. 167–170. – (Advances in Engineering Research, ISSN 2352-5401). – ISBN 978-94-62520-28-8

23. Буялич, Г. Д. Регулярная сетка конечных элементов манжетного уплотнения гидростоек / Г. Д. Буялич, К. Г. Буялич // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № S3. – С. 119–121.

24. Буялич, Г. Д. Обоснование плотности сетки цилиндра гидростойки при расчётах методом конечных элементов / Г. Д. Буялич, В. В. Воеводин, К. Г. Буялич // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № S3. – С. 126–129.

25. Уплотнения для пневматики и гидравлики : каталог / Freudenberg Simrit GmbH & Co. RG. – 2011. – 503 с.

Бяков Максим Анатольевич, аспирант, [BiakovMA@suek.ru](mailto:BiakovMA@suek.ru), Россия, Кемерово, ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва».

Буялич Геннадий Данилович, д.т.н., профессор, [gdb@kuzstu.ru](mailto:gdb@kuzstu.ru), Россия, Кемерово, ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва».

Буялич Константин Геннадьевич, к.т.н., доцент, [konstantin42@mail.ru](mailto:konstantin42@mail.ru), Россия, Кемерово, ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва».