

24. Aksenov, V. V. Justification of the need for the design of the test bench for gear trains used in transmissions of the mining machinery / V.V. Aksenov, G.M. Dubov, D.S. Trukhmanov, V.E. Ashimmin, A.A. Chegoshev // Prospects of innovative development of the coal regions of Russia: Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference. – Prokopyevsk: Branch Kuzbass State Technical University in Prokopyevsk, 2018. – pp. 303-305.

25. Tupitsyn, A.A. Alternative form of the gear train / A.A. Tupitsyn, A.A. Revenskii // Modern technologies. System analysis. Modeling / Irkutsk: FGBOU VPO of the Irkutsk State Technical University. – 2010. – №4. – pp. 84-91.

26. Stanovskoi, V.V. Eccentric-cycloidal meshing of gears and mechanisms based on it / V.V. Stanovskoi, S.M. Kazakiavichius, T.A. Remneva, V.C. Kuznetsov // Theory and practice of gear trains and reducer construction: proceedings of the scientific and technical conference. / IzhSTU. – Izhevsk, 2008. – pp. 148–152.

27. Litvin F.L. Cylindrical screw wheels with a new geometry providing increased load capacity / F.L. Litvin, V.V. Shults // Digest: Theories of gears in machines – Moscow: Mechanical engineering, 1961. – 310 p.

28. UAB Technology market. – Company Website. – Tomsk, (2018). – <http://www.ec-gearing.ru/index.php>

29. Stanovskoi V.V., Kazakiavichius S.M., Remneva T.A., Kuznetsov V.C., Stanovskoi V.A., e.a. Ekstsentriskovo-tsikloidalnoe zatseplenie zubchatykh profilei (variant) [Eccentric-cycloidal engagement of gear profiles (variants)]. Patent RF, no. 2416748, 2011.

30. Leontev, M.U. Overview of advantages and disadvantages of eccentric-cycloidal engagement / M.U. Leontev, V.A. Raevskii, A.E. Smolovik // Actual problems of the humanities and natural sciences. – 2016. – № 7-5. pp. 54 – 57.

Библиографическое описание статьи

Дубов Г.М. Обоснование необходимости создания трансмиссии геохода с зубчатой передачей / Г.М. Дубов, М.С. Данилов, Д.С. Трухманов // Горное оборудование и электромеханика — 2018. — № 4 (138). — С. 19-26.

Reference to article

Dubov G.M., Danilov M.S., Trukhmanov D.S. Justification of the need for creation of the geokhod's transmission with gear train. Mining Equipment and Electromechanics, 2018, no. 4 (138), pp. 19-26.

Аксенов Владимир Валерьевич^{1,2}, доктор техн. наук, Бегляков Вячеслав Юрьевич¹, кандидат техн. наук, доцент, Дронов Антон Анатольевич¹, ст. преподаватель

¹Юргинский технологический институт Национального исследовательского Томского политехнического университета, 652061, Россия, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

²Научно-исследовательский центр ООО «Сибирское НПО» Россия, 650002, Кемерово, Сосновый бульвар, 1

E-mail: aa-dronov@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ УЗЛА СОПРЯЖЕНИЯ СЕКЦИЙ ГЕОХОДА

Аннотация: совмещенный режим работы геохода возможен при наличии в его конструкции узла сопряжения секций (УСС). Существует математическая модель работы геохода в совмещенном режиме в работах для двухсекционного геохода, т.е. для случая, когда УСС выполнен заодно с секциями геохода. Однако данная математическая модель не учитывает ряд новых технических решений, принятых для нового опытного образца геохода (наличие УСС модульного типа, исполнительный орган главного забоя барабанного типа, двухзаходный внешний движитель и т.д.) Наличие данных недостатков говорит о необходимости модернизации математической модели работы геохода в совмещенном режиме. Частично данная задача была решена при разработке математической модели взаимодействия узла сопряжения секций геохода с геосредой и смежными системами геохода. В данной работе представлено моделирование взаимодействия элементов узла сопряжения секций геохода между собой для двух вариантов компоновочных решений узла.

Ключевые слова: математическая модель, геоход, узел сопряжения секций геохода.

Информация о статье: принята 05 августа 2018 г.

DOI: 10.26730/1816-4528-2018-4-27-32

Введение: Известна математическая модель для определения внешних воздействий, прикладываемых к узлу сопряжения секций (УСС) геохода со стороны головной и стабилизирующей секций [1]. Внешние воздействия были определены для конструкции опытного образца геохода, разработанного в рамках НИОКТР по открытому конкурсу Министерства науки и образования РФ по Постановлению Правительства №218 [2,3]. При определении воздействий учитывались результаты, полученные в работах Аксенова В.В., Эллера А.Ф., Горбунова В.Ф., Нагорного В.Д., Ефременкова А.Б., Беглякова В.Ю.,

Блащука М.Ю., Тимофеева В.Ю., Ананьева К.А., Ермакова А.Н., Садовца В.Ю. [4–16]. При этом параметры самого УСС не оказывают влияния на характер и величину внешних воздействий. Таким образом, на основе полученных ранее данных [1], может быть разработана математическая модель по определению внутренних взаимодействий между элементами УСС геохода.

Материалы и методы: В работе [1] оговорен ряд ограничений и допущений, согласно которым силы $R_Y^r, R_Z^r, R_Y^{cr}, R_Z^{cr}$ и моменты M_Y^r, M_Z^r ,

Таблица. 1. Значения сил и моментов приложенных к УСС со стороны секций геохода и действующих относительно оси x

Table.1. The values of the forces and moments applied to the geokhod's bearing unit from the geokhod sections and acting with respect to the x axis

Значения усилий, приложенных к УСС со стороны секций геохода	Единицы измерения
$R_x^r = R_{вд} \cdot \cos \beta \cdot (1 - f_{TP} \cdot \operatorname{tg} \beta) + R_1$	Н
$M_x^r = M_1 - R_{вд} \cdot \left(r_r + \frac{h_{вд}}{2} \right) \cdot \cos \beta \cdot (f_{TP} + \operatorname{tg} \beta)$	Н·м
$R_x^{cr} = R_2 + \frac{f_{TP}}{R_3} \cdot M_{BP}$	Н
$M_x^{cr} = -M_{НОЭП} + R_3 \cdot R_{ЭП}$	Н·м

Таблица.2. Обозначения к схеме (Рисунок 1)

Table.2. Legend to the design scheme(Figure 1)

Обозначение величины	Единицы измерения	Наименование
F_{B3}	Н	сила взаимодействия между оболочкой и внутренним кольцом УСС геохода (в месте передачи тягового усилия)
$G_{OB}^{УСС}$ $G_{BH}^{УСС}$	Н	силы тяжести, действующие на оболочку и внутреннее кольцо УСС вместе со смонтированным на них оборудованием соответственно
$M_{TP}^{УСС}$	Н·м	реактивный вращающий момент от силы трения на элементах для передачи тягового усилия
r_{K1} r_{K2}	м	большой и меньший радиусы кольца контакта элементов для передачи тягового усилия соответственно

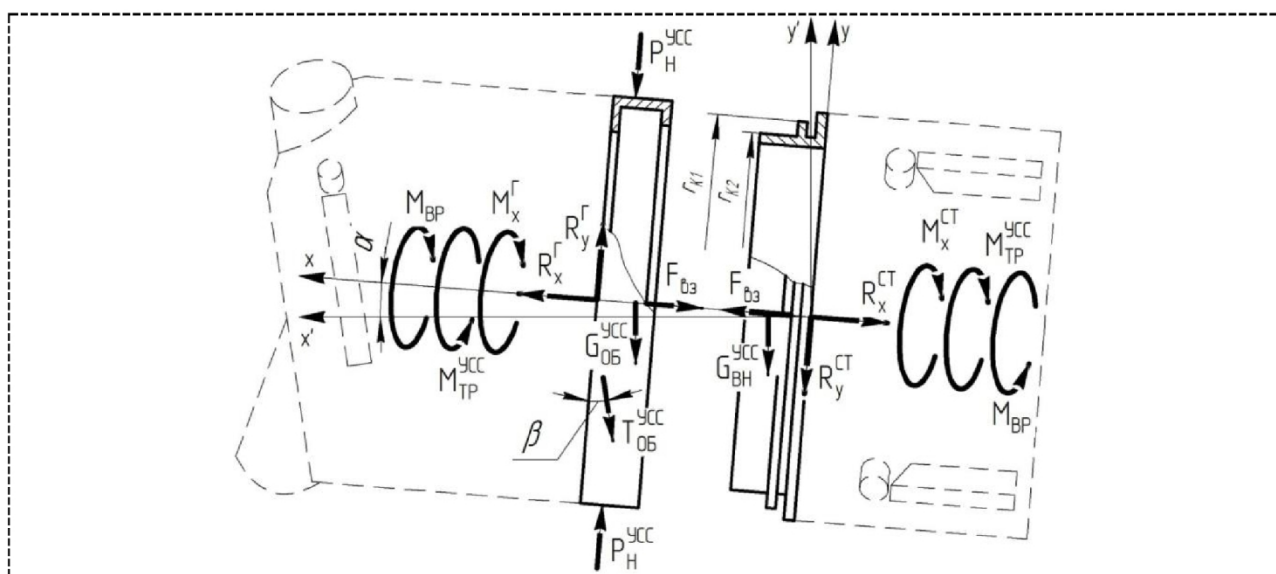


Рис. 1. Расчетная схема по определению сил, образованных при взаимодействии элементов УСС между собой для компоновки с сопряжением оболочки узла с головной секцией геохода

Fig. 1. The design scheme for determining the forces generated by the interaction of the geokhod's bearing unit elements with each other for the layout with the conjugation of the geokhod's bearing unit envelope with the head section

M_z^{CT} , M_z^{CT} , действующие относительно осей y и z уравновешивают друг друга и их равнодействующую можно приравнять к нулю. В этой же работе определены значения сил R_x^r , R_x^{CT} и моментов M_x^r , M_x^{CT} приложенных к УСС со стороны секций геохода и действующих относительно оси x . Их значения приведены в таблице 1. Значения составляющих выражений из таблицы 1 были приведены в работе [1].

Для составления расчетных схем были рассмотрены два варианта компоновочных решений УСС геохода. С сопряжением оболочки УСС с головной секцией и с сопряжением оболочки УСС со стабилизирующей секцией геохода[1].

Результаты и обсуждение: Для определения сил взаимодействия между элементами УСС при компоновочной схеме с сопряжением оболочки УСС с головной секцией геохода была составлена расчетная

схема, представленная на рисунке 1. Обозначения, примененные на схеме, приведены в таблице 2.

Была составлена система уравнений равновесия:

$$\begin{cases} R_x^r - F_{B3} - G_{OB}^{УСС} \cdot \sin \alpha - T_{OB}^{УСС} \cdot \sin \beta = 0 \\ M_{BP} + M_x^r - M_{TP}^{УСС} - T_{OB}^{УСС} \cdot r_{CT} \cdot \cos \beta = 0 \\ F_{B3} - R_x^{CT} - G_{BH}^{УСС} \cdot \sin \alpha = 0 \end{cases} \quad (1)$$

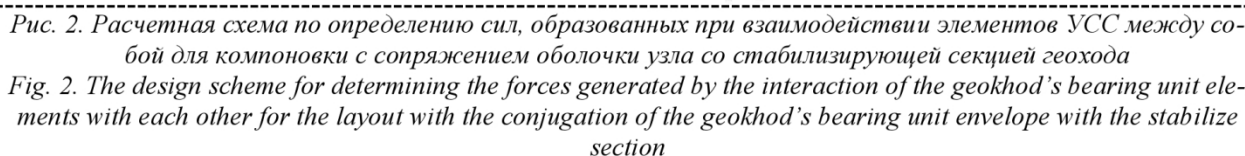
Реактивный вращающий момент от силы трения на элементах для передачи тягового усилия был определен по выражению:

$$M_{TP}^{УСС} = F_{B3} \cdot f_{TP1} \cdot r_{KCP} \quad (2)$$

где f_{TP1} – коэффициент трения стали по стали [17];

r_{KCP} – средний радиус на кольце контакта элементов для передачи тягового усилия.

Средний радиус на кольце контакта элементов для передачи тягового усилия определили по выражению:



После подстановки выражений из таблицы 1, а также выражения (2) и приведения общих членов система уравнений (1) приняла вид:

Из последнего уравнения системы (4) была выражена неизвестная F_{B3} :

Из второго уравнения системы (4) была выражена неизвестная M_{BP} , которая после подстановки значения F_{B3} , приняла вид:

В выражении (5) описана зависимость F_{B3} от переменной M_{BP} . В выражении (6) описана зависимость M_{BP} от переменной $R_{ВД}$. Были введены константы, независимые от значений переменных:

$$R_6 = 1 - \frac{f_{TP}}{R} \cdot f_{TP1} \cdot r_{KCP}$$

Была составлена система уравнений равновесия для расчетной схемы (рис. 2):

$$\begin{cases} R_X^r - F_{B3}' - G_{BH}^{YCC} \cdot \sin \alpha = 0 \\ M_{BP}' + M_X^r - M_{TP}^{YCC} = 0 \\ F_{B3}' - R_X^{CT} - G_{OB}^{YCC} \cdot \sin \alpha - T_{OB}^{YCC} = 0 \end{cases} \quad (11)$$

Полученная система уравнений была решена аналогично решению системы (1). При решении системы была введена константа, значение которой не зависит от значений переменных:

$$R_7 = T_{OB}^{YCC} \cdot (f_{TP1} \cdot r_{KCP} - r_r \cdot \cos \beta) - (G_{BH}^{YCC} \cdot f_{TP1} \cdot r_{KCP} - G_{OB}^{YCC}) \cdot \sin \alpha$$

С учетом введенной константы были получены значения переменных для второго варианта компоновки УСС (рис. 2):

$$M_{BP}' = \frac{R_4 + R_{BD}' \cdot R_5 + R_7}{R_6} \quad (12)$$

$$F_{B3}' = R_2 + \frac{f_{TP} \cdot (R_4 + R_{BD}' \cdot R_5 + R_7)}{R_3 \cdot R_6} + G_{OB}^{YCC} \cdot \sin \alpha + T_{OB}^{YCC} \quad (13)$$

$$R_{BD}' = \frac{-R_1 + R_2 + \frac{f_{TP} \cdot (R_4 + R_7)}{R_3 \cdot R_6} + T_{OB}^{YCC} + (G_{OB}^{YCC} + G_{BH}^{YCC}) \cdot \sin \alpha}{\cos \beta \cdot (1 - f_{TP} \cdot \tan \beta) - \frac{f_{TP} \cdot R_5}{R_3 \cdot R_6}} \quad (14)$$

$$M_{TP}^{YCC} = \left(R_2 + \frac{f_{TP} \cdot (R_4 + R_{BD}' \cdot R_5 + R_7)}{R_3 \cdot R_6} + G_{OB}^{YCC} \cdot \sin \alpha + T_{OB}^{YCC} \right) \cdot f_{TP1} \cdot r_{KCP} \quad (15)$$

Заключение. Полученные выражения являются математической моделью взаимодействия элементов УСС геолохода между собой. Модель учитывает все рассматриваемые варианты компоновочных решений УСС.

В дальнейшем полученные результаты позволят провести сравнительный анализ рассмотренных вариантов компоновочных решений УСС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов В.В., Бегляков В.Ю., Блащук М.Ю., Дронов А.А. Разработка математической модели взаимодействия узла сопряжения секций геолохода с геосредой и смежными системами // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2018. № 2 (126). С. 173–182.
2. Аксенов В.В., Вальтер А.В. Специфика геолохода как предмета производства // Научное Обозрение. 2014. В. 8, Ч. 3. С. 945–950.
3. Аксенов В.В., Бегляков В.Ю. Поверхность забоя при проходке горной выработки. Saarbrücken: LAP LAMBERT. 139 с.
4. Ефременков А.Б. Разработка научных основ создания систем геолохода: дис. д-ра техн. наук. Юрга: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2016. 314 с.
5. Блащук М.Ю. Обоснование параметров трансмиссии геолохода с гидроприводом: дис. кан-та

техн. наук. Кемерово: Юргинский технологический институт, 2012.

6. Тимофеев В.Ю. Обоснование параметров трансмиссии геолохода с волновой передачей: дис. кан-та техн. наук. Юрга: Кузбасский государственный технический университет, 2012. 145 с.

7. Ананьев К.А. Создание исполнительного органа геолохода для разрушения пород средней крепости: дис. кан-та техн. наук. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2016. 144 с.

8. Ермаков А.Н. Обоснование параметров контурных исполнительных органов геолоходов для разрушения пород средней крепости: дис. кан-та техн. наук. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2016. 158 с.

9. Sadovets V.Y., Beglyakov V.Y., Efremenkova A.B. Simulation of Geokhod Movement with Blade Actuator // Appl. Mech. Mater. 2015. В. 770. С. 384–390.

10. Садовец В.Ю. Обоснование конструктивных и силовых параметров ножевых исполнительных органов геолоходов. Кемерово: КузГТУ, 2007.

11. Чернухин Р.В. Обоснование параметров насосной станции энергосиловой установки геолохода: дис. кан-та техн. наук. Кемерово, 2014.

12. Walter A.V., Borovikov I.F., Savin M.F. Research on Geometrical Errors of Geokhod Prototype Shell Based on Coordinate Control Data // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2016. В. 142. С. 012129.

13. Walter A.V. и др. Research on Geometric Errors of Intermediate Unit Shell of a Geokhod // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2016. В. 127. С. 012017.

14. Хорешок А.А., Ананьев К.А., Ермаков А.Н. Определение рационального числа резцов в линиях резания барабанных исполнительных органов геолоходов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2017. № 3 (121). С. 110–116.

15. Вальтер А.В., Нозирзода Ш.С., Ивкин А.Н. Исследование точности изготовления крупногабаритных корпусов вращения опытного образца геолохода // Научно-методический электронный журнал КОНЦЕПТ. 2016. № 11. С. 2026–2030.

16. Вальтер А.В., Чернухин Р.В., Капустин А.Н. Отклонения формы оболочки стабилизирующей секции геолохода // Технологии и материалы. 2016. № 1. С. 4–7.

17. Вальтер А.В., Нозирзода Ш.С. Аналитическая модель формирования отклонений биения, возникающих при сборке корпусов геолохода // Технологии и материалы. 2016. № 4. С. 4–8.

18. Chernukhin R.V., Blaschuk M.Y., Blumenstein V.Yu., Chazov P.A. Objectivation of the Necessity of Structural and Parametric Synthesis of the Hydraulic Drive of Geokhod // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2016. В. 142. С. 123667.

19. Chernukhin R.V., Timofeev V.Y., Grigoryeva E.G. Effect of Incorporated Pumping Station Weight on

Vladimir V. Aksenov^{1,2}, Dr.Sc, Vyacheslav Yu. Beglyakov¹, Ph.D, Associate Professor
Anton A. Dronov¹, Senior Lecturer

¹Yurga Institute of Technology of National Research Tomsk Polytechnic University, 26 street Leningradskaya, Yurga, 652061, Russian Federation

²Scientific and research center LLC «Siberian Research and Production Association», 650002, 1 Sosnoviy bul., Kemerovo, Russia

E-mail: aa-dronov@mail.ru

SIMULATION OF THE INTERACTIONS BETWEEN ELEMENTS OF THE GEOKHOD'S BEARING UNIT

Abstract: combined mode of operation of the geokhod is possible if there is the geokhod's bearing unit in its design. There is a mathematical model of the work of a geokhod in a combined mode in works for a two-section geokhod, i.e. for the case when the geokhod's bearing unit is made to be connected with the sections of the geokhod. However, this mathematical model does not take into account a number of new technical solutions adopted for the new prototype of the geodatabase (the presence of the geokhod's bearing, the executive organ of the main drum-type face, a two-way external propulsion device, etc.). The presence of these shortcomings suggests the need to modernize the mathematical model of the operation of the geokhod in the combined mode. Partially this problem was solved by developing a mathematical model for the geokhod's bearing with the geo-environment and adjacent systems of the geokhod. In this paper, the simulation of the interaction of the elements of the conjugation the geokhod's bearing with each other for two variants of the node's layout solutions is presented.

Keywords: mathematical model, geokhod, the geokhod's bearing unit.

Article info: received August 05, 2018

DOI: 10.26730/1816-4528-2018-4-27-32

REFERENCES

1. Aksenov V.V., Beglyakov V.YU., Blashchuk M.YU., Dronov A.A. Razrabotka matematicheskoy modeli vzaimodejstviya uzla sopryazheniya sekcij geohoda s geosredoj i smezhnymi sistemami // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2018. № 2 (126). S. 173–182.
2. Aksenov V.V., Val'ter A.V. Specifika geohoda kak predmeta proizvodstva // Nauchnoe Obozrenie. 2014. V. 8, CH. 3. S. 945–950.
3. Aksenov V.V., Beglyakov V.YU. Poverhnost' zaboya pri prohodke gornoj vyra-botki. Saarbrücken: LAP LAMBERT. 139 s.
4. Efremkov A.B. Razrabotka nauchnyh osnov sozdaniya sistem geohoda: dis. d-ra tekhn. nauk. Yurga: Nacional'nyj issledovatel'skij Tomskij politekhnicheskij universitet, 2016. 314 s.
5. Blashchuk M.YU. Obosnovanie parametrov transmissii geohoda s gidroprivo-dom: dis. kan-ta tekhn. nauk. Kemerovo: Yurginskij tekhnologicheskij institut, 2012.
6. Timofeev V.YU. Obosnovanie parametrov transmissii geohoda s volnovoj peredachej: dis. kan-ta tekhn. nauk. Yurga: Kuzbasskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2012. 145 s.
7. Anan'ev K.A. Sozдание ispolnitel'nogo organa geohoda dlya razrusheniya porod srednej kreposti: dis. kan-ta tekhn. nauk. Kemerovo: Kuzbasskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni T. F. Gorbacheva, 2016. 144 s.
8. Ermakov A.N. Obosnovanie parametrov zakonturnyh ispolnitel'nyh orga-nov geohodov dlya razrusheniya porod srednej kreposti: dis. kan-ta tekhn. nauk. Kemerovo: Kuzbasskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni T. F. Gorbacheva, 2016. 158 s.
9. Sadovets V.Y., Beglyakov V.Y., Efremkov A.B. Simulation of Geokhod Movement with Blade Actuator // Appl. Mech. Mater. 2015. V. 770. S. 384–390.
10. Sadovec V.YU. Obosnovanie konstruktivnyh i silovyh parametrov nozhe-vyh ispolnitel'nyh organov geohodov. Kemerovo: KuzGTU, 2007.
11. ChErnuhin R.V. Obosnovanie parametrov nasosnoj stancii ehnergosilovoj ustanovki geohoda: dis. kan-ta tekhn. nauk. Kemerovo, 2014.
12. Walter A.V., Borovikov I.F., Savin M.F. Research on Geometrical Errors of Geokhod Prototype Shell Based on Coordinate Control Data // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2016. V. 142. S. 012129.