

получить правила проведения и трактовки результатов вибродиагностики без поиска аналогий для оригинальной по конструкции машины.

Литература.

1. Блащук М.Ю. Обоснование параметров трансмиссии геогодов с гидроприводом // автореф. дисер. к.т.н. Кузбасс. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2012. с. 19
2. Aksenov V. V. , Blashchuk M. Y. , Dubrovsky M. V. Estimation of torque variation of geohod transmission with hydraulic drive // Applied Mechanics and Materials. - 2013 - Vol. 379. - p. 11-15
3. Логов А.Б., Замараев Р.Ю. Математические модели диагностики уникальных объектов / Новосибирск, – Издательство СО РАН, 1999. – 228 с.
4. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Садовец В.Ю., Тимофеев В.Ю., Бегляков В.Ю., Блащук М.Ю. Формирование требований к основным системам геогодов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) = Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2009. Т. 10. № 12. С. 107-118.
5. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Бегляков В.Ю. Влияние динамических процессов, формирующихся в рабочих режимах, на силовые параметры ножевого исполнительного органа // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) = Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2009. Т. 10. № 12. С. 91-106.
6. Садовец В.Ю. Обоснование конструктивных и силовых параметров ножевых исполнительных органов геогодов // автореф. дисер. к.т.н. Кузбасс. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2007. с. 17
7. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Садовец В.Ю., Резанова Е.В. Формирование структурного портрета геогода // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2010. № 01. С. 35-41.

#### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РОЛИКА ВОЛНОВОЙ ПЕРЕДАЧИ С ПОЛЫМ ВАЛОМ ДЛЯ ТРАНСМИССИИ ГЕОХОДА

*В.Ю. Тимофеев\*\*\*, к.т.н., доц., м.н.с., В.В. Аксенов\*\*\*, д.т.н., проф., в.н.с.,  
Ю.И. Галямова\*, студент*

*\*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*\*\*Институт угля Сибирского отделения наук Российской академии наук*

*652050, г. Юрга, ул. Ленинградская 26, тел. (38-451) 6-26-83*

*E-mail: tv-ytitpu@mail.ru, 55vva42@mail.ru, galjam6669@mail.ru*

На сегодняшний день совершенствование проходческой техники и повышение ее производительности основано на увеличении энерговооруженности проходческих комплексов. Создание напорных усилий на забой осуществляется за счет наращивания массы оборудования. Подобная тенденция приводит к ограничению области применения проходческих комбайнов и щитов по углам проводимых выработок, увеличению их металлоемкости и габаритных размеров. Поэтому создание альтернативных технологий проведения горных выработок и разработка высокоэффективных проходческих машин являются крайне необходимым.

Одним из перспективных направлений в решении проблемы проведения горизонтальных и наклонных выработок является геовинчестерная технология, базовым агрегатом которой является геогод – аппарат, движущийся в подземном пространстве с использованием геосреды. К геогодам нового поколения и их системам выработаны требования [1]. Основной системой геогода является его трансмиссия, так как именно трансмиссия создает необходимый вращающий момент и тяговое усилие на внешнем движителе, обеспечивает скоростные параметры его перемещения и напорное усилие на исполнительном органе. На основании этого разработаны требования к трансмиссии геогода нового поколения [2].

Одним из вариантов трансмиссии геогода является гидропривод [3]. Анализ применимости различных вариантов схемных решений гидропривода в трансмиссии геогода показал, что в настоящее время гидропривод не соответствует новым требованиям, предъявляемым к трансмиссии и приводу [4, 5], что создает предпосылки для применения механической передачи в трансмиссии геогода нового поколения [6].

Применение механических передач, традиционно используемых в трансмиссиях горных машин (зубчатые эвольвентные, червячные, планетарные), затруднено в виду того, что при необходи-

мых для движения геохода вращающих моментах, габариты передач будут сопоставимы с размерами секций геохода [4]. Это не соответствует требованию по обеспечению свободного пространства внутри геохода. Также в качестве недостатков стоит отметить значительное усложнение конструкций передач, а как следствие и снижение их надежности, и также значительная металлоемкость [4].

В последнее время получают распространение (в том числе и в трансмиссиях горных машин) механизмы с относительно новой механической передачей – волновой передачей с промежуточными телами качения (ВППТК) [7]. Данная передача обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с передачами, традиционно используемыми в трансмиссиях горных машин: большие передаваемые вращающие моменты, большие передаточные числа, меньшая металлоемкость [7]. Компонировка и принцип работы данной механической передачи обеспечивает возможность ее адаптации в качестве трансмиссии геохода [7]. На сегодняшний день разработаны схемные решения трансмиссии и привода геохода с ВППТК с полым валом [8, 9], а также определены требуемые исходные данные для разработки трансмиссии геохода с ВППТК нового поколения [10].

Одной из основных задач ВППТК в трансмиссии геохода это обеспечение больших вращающих моментов. В ВППТК параметрами, связывающими нагрузочную способность передачи и ее геометрические параметры, являются длина  $L_C$  и диаметр  $d_p$  ролика (рисунок 1).

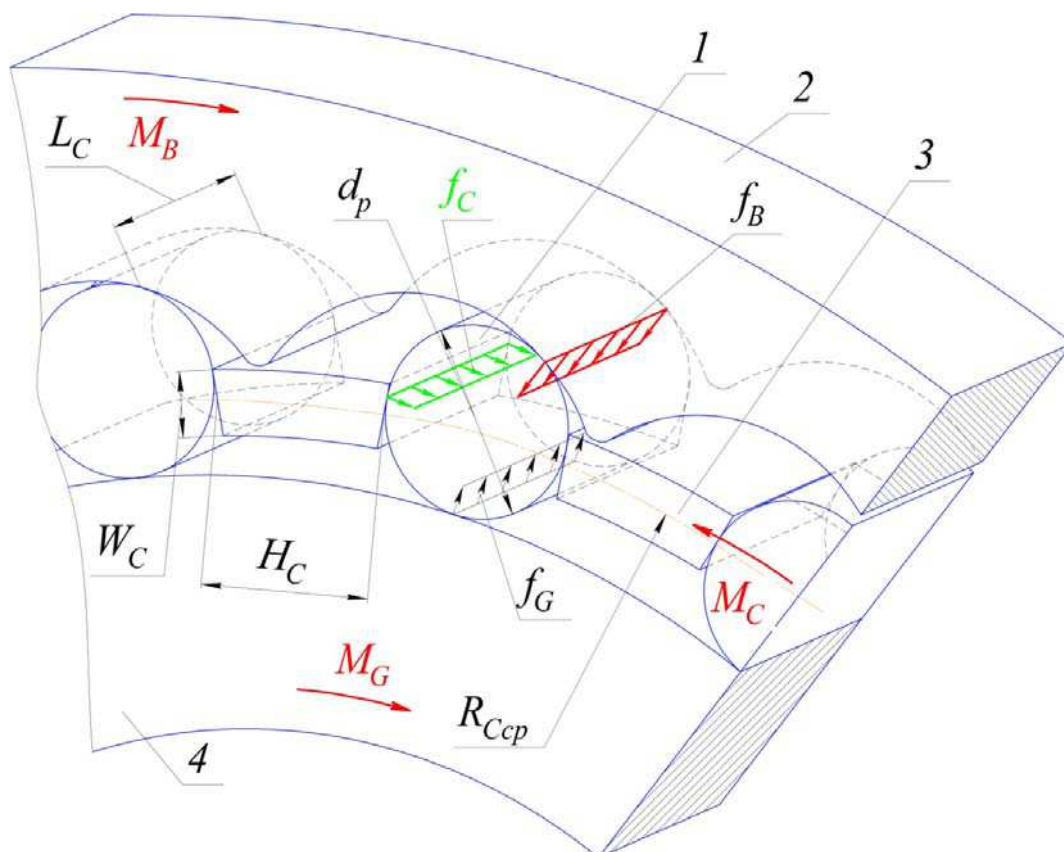


Рис. 1. Нагрузка на ролике  
1 – тело качения (ролик), 2 – зубчатый венец, 3 – сепаратор, 4 – генератор волн

Усилия в зубчатом венце  $F_B$ , генераторе волн  $F_G$  и сепараторе  $F_C$  первоначально распределяются по линии контакта данных элементов с роликом, и на поверхностях взаимодействия создают распределенные нагрузки  $f_B, f_G, f_C$  соответственно (рисунок 1). Определение максимальных контактных напряжений на поверхностях взаимодействия является решением частного случая контактной задачи Герца [11]. При этом взаимодействие ролика и зубчатого венца – внутреннее касание двух цилиндрических поверхностей, взаимодействие ролика и генератора волн – наружное касание двух цилиндрических поверхностей, взаимодействие ролика и сепаратора – наружное касание цилиндрической поверхности и плоскости.

Распределенная нагрузка на ролике от действия сил  $F_B, F_G, F_C$ :

$$f_B = \frac{F_B}{L_B} = \frac{M_B}{L_B \cdot q \cdot R_{Ccp} \cdot K_{P3} \cdot \cos \varphi_{TP}} \cdot \frac{\cos \psi_{Pi}}{\sin(\alpha_{Bi} + \psi_{Pi})} \quad (1)$$

$$f_G = \frac{F_G}{L_G} = \frac{M_B}{L_G \cdot q \cdot R_{Ccp} \cdot K_{P3} \cdot \cos \varphi_{TP}} \cdot \frac{\cos \alpha_{Bi}}{\sin(\alpha_{Bi} + \psi_{Pi})} \quad (2)$$

$$f_C = \frac{F'_C}{L_C} = \frac{M_B}{L_C \cdot q \cdot R_{Ccp} \cdot K_{P3} \cdot \cos \varphi_{TP}} \quad (3)$$

где  $L_B, L_G, L_C$  – длины контакта ролика с зубчатым венцом, генератором волн, перемычкой сепаратора соответственно, м.

Напряжения в контактных парах, в общем, описываются уравнением контактной задачи Герца при взаимодействии цилиндрических поверхностей [11]:

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{f}{\rho_{ПП} \cdot \pi} \cdot \frac{E_1 \cdot E_2}{[E_1 \cdot (1 - \mu_2^2) + E_2 \cdot (1 - \mu_1^2)]}} \quad (4)$$

где  $f$  – распределенная нагрузка, Н/м;  
 $\rho_{ПП}$  – приведенный радиус кривизны поверхностей, м;  
 $E_1, E_2$  – модули упругости контактирующих материалов, Па;  
 $\mu_1, \mu_2$  – коэффициенты Пуассона контактирующих материалов.  
 Приведенный радиус кривизны [11]:

$$\frac{1}{\rho_{ПП}} = \frac{1}{r_1} \pm \frac{1}{r_2} \quad (5)$$

где  $r_1, r_2$  – радиусы кривизны в точках контакта, м; при контакте цилиндра с плоскостью  $r_2 = \infty$ ; знак «+» при наружном касании двух поверхностей, знак «-» при внутреннем касании двух поверхностей.

Для контактных пар:

«зубчатый венец – ролик»  $r_1 = d_p/2; r_2 = R_{BII}$ ;

«генератор волн – ролик»  $r_1 = d_p/2; r_2 = R_G$ ;

«перемычка сепаратора – ролик»  $r_1 = d_p/2; r_2 = \infty$ .

Контактные напряжения в контактных парах ВППТК:

«зубчатый венец – ролик»

$$\sigma_H^{B-P} = \sqrt{\frac{M_B}{L_B \cdot \pi \cdot q \cdot R_{Ccp} \cdot K_{P3} \cdot \cos \varphi_{TP}} \cdot \frac{\cos \psi_{Pi}}{\sin(\alpha_{Bi} + \psi_{Pi})} \cdot \frac{2 \cdot R_{BII} - d_p}{d_p \cdot R_{BII}} \cdot \frac{E_1 \cdot E_2}{[E_1 \cdot (1 - \mu_2^2) + E_2 \cdot (1 - \mu_1^2)]}} \quad (6)$$

«генератор волн – ролик»

$$\sigma_H^{G-P} = \sqrt{\frac{M_B}{L_G \cdot \pi \cdot q \cdot R_{Ccp} \cdot K_{P3} \cdot \cos \varphi_{TP}} \cdot \frac{\cos \alpha_{Bi}}{\sin(\alpha_{Bi} + \psi_{Pi})} \cdot \frac{2 \cdot R_G + d_p}{d_p \cdot R_G} \cdot \frac{E_1 \cdot E_2}{[E_1 \cdot (1 - \mu_2^2) + E_2 \cdot (1 - \mu_1^2)]}} \quad (7)$$

«перемычка сепаратора – ролик»

$$\sigma_H^{П-P} = \sqrt{\frac{2 \cdot M_B}{L_C \cdot \pi \cdot d_p \cdot q \cdot R_{Ccp} \cdot K_{P3} \cdot \cos \varphi_{TP}} \cdot \frac{E_1 \cdot E_2}{[E_1 \cdot (1 - \mu_2^2) + E_2 \cdot (1 - \mu_1^2)]}} \quad (8)$$

где  $R_G, R_{BII}$  – радиусы генератора волн и впадины зубчатого венца, м.

Минимальная длина ролика из условия контактной прочности в контактной паре:

«зубчатый венец – ролик»

$$L_B = \frac{M_B \cdot K_{HH}}{[\sigma_H^B]^2 \cdot \pi \cdot q \cdot R_{Ccp} \cdot K_{P3} \cdot \cos \varphi_{TP}} \cdot \frac{\cos \psi_{Pi}}{\sin(\alpha_{Bi} + \psi_{Pi})} \cdot \frac{2 \cdot R_{BII} - d_p}{d_p \cdot R_{BII}} \cdot \frac{E_1 \cdot E_2}{[E_1 \cdot (1 - \mu_2^2) + E_2 \cdot (1 - \mu_1^2)]} \quad (9)$$

«генератор волн – ролик»

$$L_G = \frac{M_B \cdot K_{HH}}{\left[\sigma_H^G\right]^2 \cdot \pi \cdot q \cdot R_{Ccp} \cdot K_{P3} \cdot \cos \varphi_{TP}} \cdot \frac{\cos \alpha_{Bi}}{\sin(\alpha_{Bi} + \psi_{P3})} \cdot \frac{2 \cdot R_G + d_P}{d_P \cdot R_G} \cdot \frac{E_1 \cdot E_2}{\left[E_1 \cdot (1 - \mu_2^2) + E_2 \cdot (1 - \mu_1^2)\right]} \quad (10)$$

«перемычка сепаратора – ролик» с учетом выражения (4.3)

$$L_C \geq \frac{M_B \cdot (1 + K_{WП}) \cdot K_{HH}}{\left[\sigma_H^C\right]^2 \cdot \pi^2 \cdot R_{Ccp}^2 \cdot K_{P3} \cdot \cos \varphi_{TP}} \cdot \frac{E_1 \cdot E_2}{\left[E_1 \cdot (1 - \mu_2^2) + E_2 \cdot (1 - \mu_1^2)\right]} \quad (11)$$

В ВППТК определяющими являются напряжения в паре «перемычка сепаратора – ролик» [12]. Полученная зависимость длины ролика  $L_C$  (длины контакта ролика с перемычкой сепаратора), обеспечивает выполнение условия контактной прочности при известном допустимом контактом напряжении материала сепаратора:

$$\sigma_H \leq \left[\sigma_H^C\right] \quad (12)$$

где  $\sigma_H$  – возникающие контактные напряжения на поверхности перемычки сепаратора, Па;  
 $\left[\sigma_H^C\right]$  – допускаемые контактные напряжения материала сепаратора, Па.

Выражения (1)-(11) позволяют сделать вывод что определяющими напряжениями в данном варианте схемного решения ВППТК являются контактные напряжения, возникающие на поверхности перемычки сепаратора, и данные напряжения являются лимитирующими для данной передачи.

Полученные зависимости определяют параметры ролика ВППТК с промежуточными телами качения с полым валом в трансмиссии геохода, его длину и диаметр, исходя из размеров передачи, материала ролика и силовых параметров передачи.

Литература.

1. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Садовец В.Ю., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю., Бегляков В.Ю. Формирование требований к основным системам геохода // Перспективы развития горно-транспортных машин и оборудования: Сборник статей. Отдельный выпуск Горного информационного аналитического бюллетеня (научно-технического журнала). – 2009. – 10. – 432. – М.: Издательство «Горная книга» (Горный инженер). С. 107–118.
2. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю. Разработка требований к трансмиссии геоходов // Журнал // «Известия ВУЗов. Горный журнал». – 2009. – №8. С. 101-103.
3. Vladimir V. Aksenov, Mikhail Yu. Blaschuk, Mikhail V. Dubrovskii. Estimation of torque variation of geohod transmission with hydraulic drive. Applied Mechanics and Materials. Innovation Materials and Manufacturing Technologies, Economic Aspects in Enterprises. 2013. Vol. 379. available at: <http://www.scintific.net>
4. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю. Анализ возможных вариантов электропривода и механических передач в трансмиссии геохода // Горное машиностроение: Труды VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала) Mining Informational and analytical Bulletin (scientific and technical journal). - 2010. - №0В3 - 464 с. – М.: издательство «Горная книга». С. 154-163.
5. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю. Разработка и анализ возможных вариантов гидропривода в трансмиссии геохода // Горное машиностроение: Труды VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала) Mining Informational and analytical Bulletin (scientific and technical journal). - 2010. - №0В3 - 464 с. – М.: издательство «Горная книга». С. 184-194.
6. Аксенов В.В., Блащук М.Ю., Горбунов В.Ф., Тимофеев В.Ю. К вопросу о применении редукторного привода в трансмиссии агрегата для проведения аварийно-спасательных выработок (геохода) // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технического журнала) Mining Informational and analytical Bulletin (scientific and technical journal). Промышленная безопасность и

- охрана труда на предприятиях топливно-энергетического комплекса. – 2011. – № ОВ9. – С. 25-36. – М.: издательство «Горная книга».
7. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю. Обзор волновых передач возможных к применению в трансмиссии геохода // Горное машиностроение: Труды VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала) Mining Informational and analytical Bulletin (scientific and technical journal). - 2010. - №ОВ3 - 464 с. – М.: издательство «Горная книга». С. 137-149.
  8. Аксенов В.В., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю. Разработка схемного решения привода геохода с волновой передачей с промежуточными телами качения // Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала) Mining Informational and analytical Bulletin (scientific and technical journal). – 2012. – № ОВ3.– 552 С. – С. 60-68. – М.: издательство «Горная книга».
  9. Аксенов В.В., Тимофеев В.Ю. Создание схемного решения привода геохода с волновой передачей с промежуточными телами качения с полым валом // Вестник КузГТУ. 2012. № 6. С. 41-44.
  10. A.B. Efremenko, V.Yu. Timofeev Determination of Necessary Forces for Geohod Movement // The 7th International Forum on Strategic Technology IFOST2012, IEEE Catalog Number: CFP12786-PRT, ISBN: 978-1-4673-1770-2, Tomsk Polytechnic University September 17-21. Pp. 211-214.
  11. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Теория упругости. – М.: Наука, 1987. – 246 с.
  12. Беляев А.Е., Механические передачи с промежуточными телами повышенной точности и долговечности. Учебное пособие – Томск: изд. ТПИ им. С.М. Кирова, 1986. - 60 с.

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВОЛНОВОЙ ПЕРЕДАЧИ С ПОЛЫМ ВАЛОМ И ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ В ТРАНСМИССИИ ГЕОХОДА**

*В.Ю. Тимофеев\*\*\*, к.т.н., доц., м.н.с., В.Ю. Бегляков\*\*\*, к.т.н., доц., м.н.с.,  
М.В. Дохненко\*, студент*

*\* Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*\*\*Институт угля Сибирского отделения наук Российской академии наук  
652050, г. Юрга, ул. Ленинградская 26, тел. (38-451) 6-26-83*

*E-mail: tv-ytitpu@mail.ru, 55vva42@mail.ru, maksim555\_90@mail.ru*

В настоящее время группой ученых ведутся работы по разработке и научному обоснованию параметров систем геохода нового поколения, поэтому разработка вариантов конструктивных решений геохода и его систем, а также методик их расчета является актуальной научно-практической задачей.

На сегодняшний день выработаны требования ко всем основным системам геохода [1]. Одной из главных систем геохода является его трансмиссия, так как именно трансмиссия создает необходимый вращающий момент и тяговое усилие на внешнем движителе, обеспечивает скоростные параметры его перемещения и напорное усилие на исполнительном органе [2].

Один из вариантов конструктивного решения предполагает использование волновой передачи с промежуточными телами качения (ВППТК) в трансмиссии геохода [3]. В существующих решениях трансмиссии геохода в качестве привода используются гидроцилиндры, расположенные по хордам окружности корпуса геохода [4]. Такое техническое решение имеет ряд существенных недостатков, таких как: неравномерность и цикличность вращения головной секции, существенные динамические нагрузки на корпус, существенная нагрузка на корпус в местах крепления гидроцилиндров [5]. Применение ВППТК в трансмиссии геохода вполне перспективно т.к. при ее использовании повышается плавность работы, снижаются динамические нагрузки на корпус геохода. Конструктивные особенности геохода обуславливают необходимость разработки нового типа ВППТК – с полым валом. В работе [6] определено схемное решение трансмиссии геохода с ВППТК с полым валом, наиболее соответствующее требованиям, предъявляемым к трансмиссии геохода, поэтому определение усилий, возникающих при взаимодействии элементов ВППТК, является актуальной научно-практической задачей.

Параметры силового распределения в ВППТК определяют усилия и вращающие моменты возникающие от взаимодействия между генератором волн, сепаратором, зубчатым венцом и роликом