DOI: 10.26730/1999-4125-2018-2-173-181

УДК 622.23.05, 51-74

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УЗЛА СОПРЯЖЕНИЯ СЕКЦИЙ ГЕОХОДА С ГЕОСРЕДОЙ И СМЕЖНЫМИ СИСТЕМАМИ

DEVELOPMENT OF THE MATHEMATICAL MODEL OF INTERACTION OF THE GEOKHOD'S BEARING UNIT WITH GEO-ENVIRONMENT AND RELATED SYSTEMS

Аксенов Владимир Валерьевич[1,2],
доктор техн. наук, e-mail: 55vva42@mail.ru
Vladimir V. Aksenov [1,2], Dr.Sc,
Бегляков Вячеслав Юрьевич[1],
кандидат техн. наук, доцент, e-mail: begljakov@rambler.ru
Vyacheslav Yu. Beglyakov [1], Ph.D, Associate Professor,
Блащук Михаил Юрьевич[1],
кандидат техн. наук, доцент, e-mail: mby.tpu@gmail.com
Mikhail Yu. Blaschuk [1], Ph.D, Associate Professor,
Дронов Антон Анатольевич[1],
ст. преподаватель, e-mail: aa-dronov@mail.ru
Anton A. Dronov[1], Senior Lecturer

[1]Юргинский технологический институт Национального исследовательского Томского политехнического университета, 652061, Россия, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
[1]Yurga Institute of Technology of National Research Tomsk Polytechnic University, 26 street Leningradskaya, Yurga, 652061, Russian Federation
[2]Научно-исследовательский центр ООО "Сибирское НПО" Россия, 650002, Кемерово, Сосновый бульвар, 1
[2]Scientific and research centre LLC "Siberian Research and Production Association", 650002, 1 Sosnoviy bul., Kemerovo, Russia

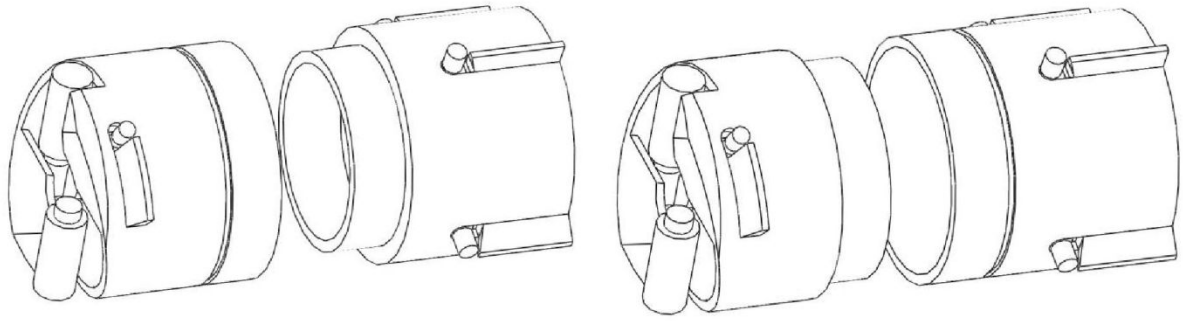
Аннотация: *Разработана математическая модель взаимодействия узла сопряжения секций геохода с геосредой и смежными системами. Модель учитывает вариативность компоновки узла сопряжения секций геохода и открывает возможности для дальнейшего определения взаимодействий элементов узла сопряжения секций геохода между собой.*

Abstract: *The mathematical model of interaction of the geokhod's bearing unit with geo-environment and related systems was developed. The model takes into account the variability of the geokhod's bearing unit and opens up the possibilities for further determining the interactions of the elements of the geokhod's bearing unit with each other.*

Ключевые слова: *математическая модель, геоход, узел сопряжения секций геохода.*
Key words: *mathematical model, geokhod, the geokhod's bearing unit.*

Введение: Геоход – проходческий аппарат, который осуществляет движение в горном массиве за счет взаимодействия со сформированной им системой законтурных каналов [1,2]. Геоход является новым классом горной техники, вследствие чего возникает ряд сложностей при его проектировании и изготовлении [3–9]. Создание математических моделей взаимодействия систем и элементов геохода между собой является актуальной задачей [10].

Определению сил и моментов, действующих на геоход во время движения в горном массиве, были посвящены работы 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.[1,2,11-20]. В части данных работ рассматри-



a) *b)*

Рис. 1. Варианты компоновки УСС
a) оболочка УСС сопряжена с головной секцией геохода, b) оболочка УСС сопряжена со стабилизирующей секцией геохода
Fig. 1. Variants of arrangement of the geokhod's bearing unit
a) the shell of the geokhod's bearing unit is associated with the head section b) the shell of the geokhod's bearing unit is associated with the stabilizing section

вались конструкции геоходов предыдущих поколений, реализующих раздельный режим перемещения секций геохода [1]. Остальные работы были посвящены отдельным узлам и системам геохода [11–20]. Геоход нового поколения реализует принцип совмещенного перемещения секций. Это возможно за счет введения в его конструкцию узла сопряжения секций (УСС) [10].

Для обоснования конструктивных параметров УСС необходимо определение характера внешних воздействий и внутренних взаимодействий УСС. К

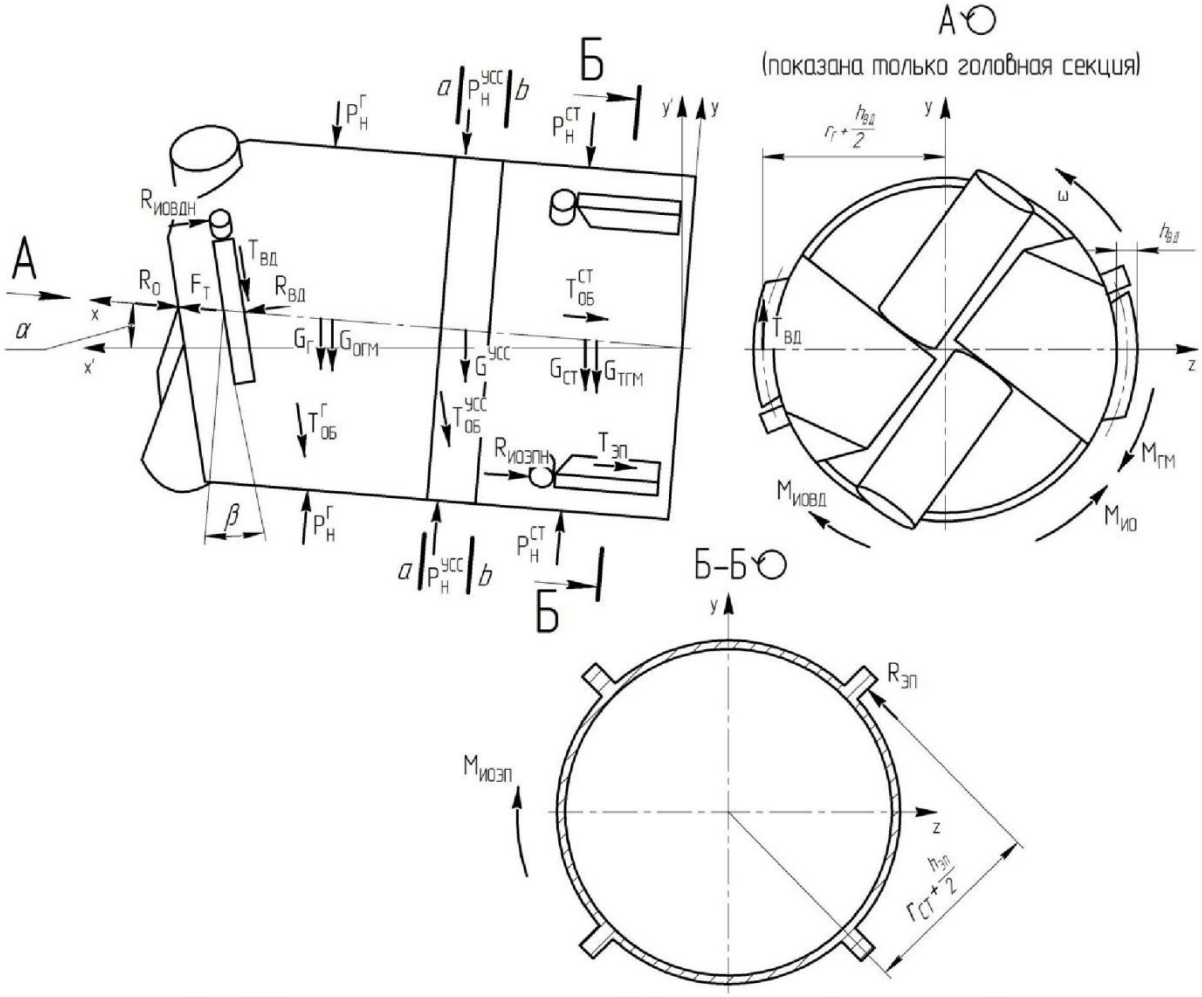


Рис. 2. Расчетная схема внешних сил, действующих на оболочку геохода
Fig. 2. The design scheme of external forces, acting on the geokhod's shell

Таблица.1. Обозначения к схеме (Рисунок 1)
Table.1. Legend to the design scheme (Figure 1)

Обозначение величины	Единицы измерения	Наименование
F_T	Н	суммарная сила тяги внешних движителей
$P_H^Г$	Н	нормальная составляющая нагрузок от горного давления на головную секцию
$P_H^{СТ}$	Н	нормальная составляющая нагрузок от горного давления на стабилизирующую секцию
$P_H^{УСС}$	Н	нормальная составляющая нагрузок от горного давления на оболочку УСС
R_O	Н	проекция результирующей силы на ось вращения геохода от работы исполнительного органа главного забоя
$R_{ВД}$	Н	суммарная реакция пород контура выработки на внешние движители
$R_{ИОВДН}$ $R_{ИОЭПН}$	Н	суммарные нормальных составляющих усилий внедрения исполнительных органов внешних движителей и элементов противовращения в приконтурный массив при движении геохода соответственно
$T_{ВД}$ $T_{ЭП}$	Н	суммарные силы трения внешних движителей и элементов противовращения об вмещающую породу соответственно
$T_{ОБ}^Г$ $T_{ОБ}^{УСС}$ $T_{ОБ}^{СТ}$	Н	суммарные силы трения оболочек головной секции, УСС и стабилизирующей секции об вмещающую породу соответственно
$M_{ИО}$	Н·м	вращающий момент сопротивления резанию на исполнительном органе главного забоя
$M_{ИОВД}$	Н·м	вращающий момент сопротивления резанию на исполнительных органах внешних движителей
$M_{ИОЭП}$	Н·м	вращающий момент сопротивления резанию на исполнительных органах элементов противовращения
$M_{ГМ}$	Н·м	вращающий момент, необходимый для перемещения разрушенной породы из нижней части геохода вверх
$G_Г$ $G^{УСС}$ $G_{СТ}$	Н	силы тяжести, действующие на головную секцию, УСС и стабилизирующую секцию со смонтированным на них оборудованием соответственно
$G_{ОГМ}$ $G_{ТГМ}$	Н	силы тяжести, действующие на отбитую и транспортируемую горные массы, находящиеся внутри геохода
$r_Г = r_{СТ}$	м	радиусы головной и стабилизирующей секций (по оболочке)
$h_{ЭП}$ $h_{ВД}$	м	высота элементов противовращения и внешних движителей геохода соответственно
α	град	угол подъёма выработки
β	град	угол подъёма внешнего движителя
ω	$с^{-1}$	угловая скорость вращения головной секции геохода

внешним относятся воздействие геосреды и смежных систем, а к внутренним – взаимодействие элементов УСС между собой.

Рассмотрены два варианта компоновки УСС. Внешняя оболочка УСС может быть сопряжена с головной секцией геохода (рисунок 1, а) и осуществлять с ней вращательно-поступательное дви-

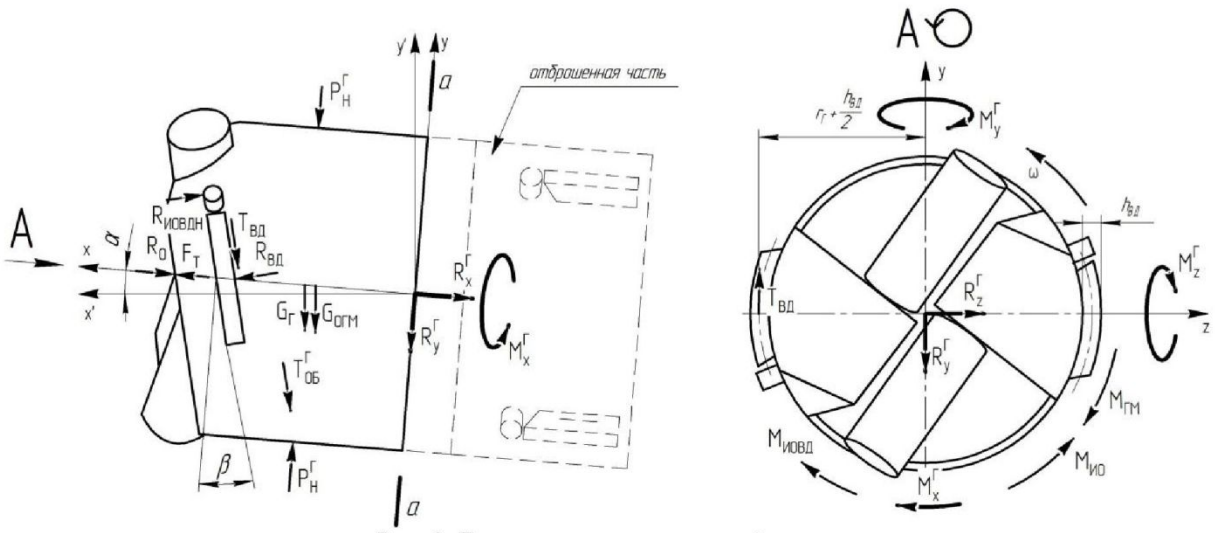


Рис. 3. Головная часть расчетной схемы
Fig. 3. The head part of the design scheme

жение. Или она может быть сопряжена со стабилизирующей секцией геохода (рисунок 1, b) и осуществлять с ней только поступательное движение.

Материалы и методы: Для определения внешних воздействий была составлена расчетная схема внешних сил, действующих на оболочку геохода (Рисунок 2). Обозначения, примененные на схеме, приведены в таблице 1. На схеме учтено то, что направление силы трения оболочки УСС о породу выработки меняется в зависимости от варианта компоновки. При первом варианте компоновки сила трения оболочки УСС о породу выработки направлена вдоль линии расположения внешних движителей геохода. На схеме она обозначена как $T_{ОБ}^{УСС}(вар.a)$. При втором варианте компоновки она направлена вдоль траектории движения геохода. На схеме она обозначена как $T_{ОБ}^{УСС}(вар.b)$.

Геоход был рассмотрен как твердое тело, которое под действием внешних сил находится в состоянии равновесия. К составленной расчетной схеме был применен метод сечений. Произведено мысленное сечение геохода по плоскостям сопряжения УСС с головной и стабилизирующей секциями (сечения a-a и b-b на рисунке 2). Получили три части расчетной схемы, которым были присвоены названия: головная часть расчетной схемы (Рисунок 3); хвостовая часть расчетной схемы (Рисунок 4); средняя часть расчетной схемы (Рисунок 5).

Результаты и обсуждение: На головной части расчетной схемы (Рисунок 3) введены уравновешивающие систему силы $R_X^Г$, $R_Y^Г$, $R_Z^Г$, приложенные в сечении a-a и направленные вдоль осей *x, y, z* соответственно. $M_X^Г$ – уравновешивающий систему крутящий момент. $M_Y^Г$ и $M_Z^Г$ – уравновешивающие систему изгибающие относительно осей *y* и *z* моменты.

При определении нагрузок были приняты следующие допущения и ограничения:

- силовое проявление горного давления равномерно распределено по оболочке геохода;
- оболочка геохода обладает абсолютной жесткостью;
- геоход осуществляет абсолютно прямолинейное передвижение с произвольным углом проведения выработки α, что позволяет сделать допущение: $R_Z^Г = 0$, $M_Y^Г = 0$, $M_Z^Г = 0$.

Была составлена система уравнений для головной части расчетной схемы (Рисунок 3):

$$\begin{cases} F_T - R_O - R_{ИОВДН} \cdot \cos\beta - (G_Г + G_{ОГМ}) \cdot \sin\alpha - \\ - T_{ВД} \cdot \sin\beta - T_{ОБ}^Г \cdot \sin\beta - R_X^Г = 0 \\ M_{ИО} - M_{ИОВД} - M_{ГМ} - T_{ВД} \cdot \left(r_Г + \dfrac{h_{ВД}}{2}\right) \cdot \cos\beta - \\ - R_{ВД} \cdot \left(r_Г + \dfrac{h_{ВД}}{2}\right) \cdot \sin\beta - \\ - T_{ОБ}^Г \cdot r_Г \cdot \cos\beta - M_X^Г = 0 \\ R_{ИОВДН} \cdot \sin\beta - T_{ВД} \cdot \cos\beta - (G_Г + G_{ОГМ}) \cdot \cos\alpha - \\ - T_{ОБ}^Г \cdot \cos\beta - R_{ВД} \cdot \sin\beta - R_Y^Г = 0 \end{cases}$$

(1)

Значения $T_{ВД}$ и F_T были определены в работе [1]:

$$T_{ВД} = \left|R_{ВД}\right| \cdot f_{ТР},$$

$$F_T = R_{ВД} \cdot \cos\beta,$$

где $f_{ТР}$ – коэффициент трения стали о вмещающую породу.

После подстановки значений $T_{ВД}$ и F_T и приведения общих членов, система уравнений (1) приняла вид:

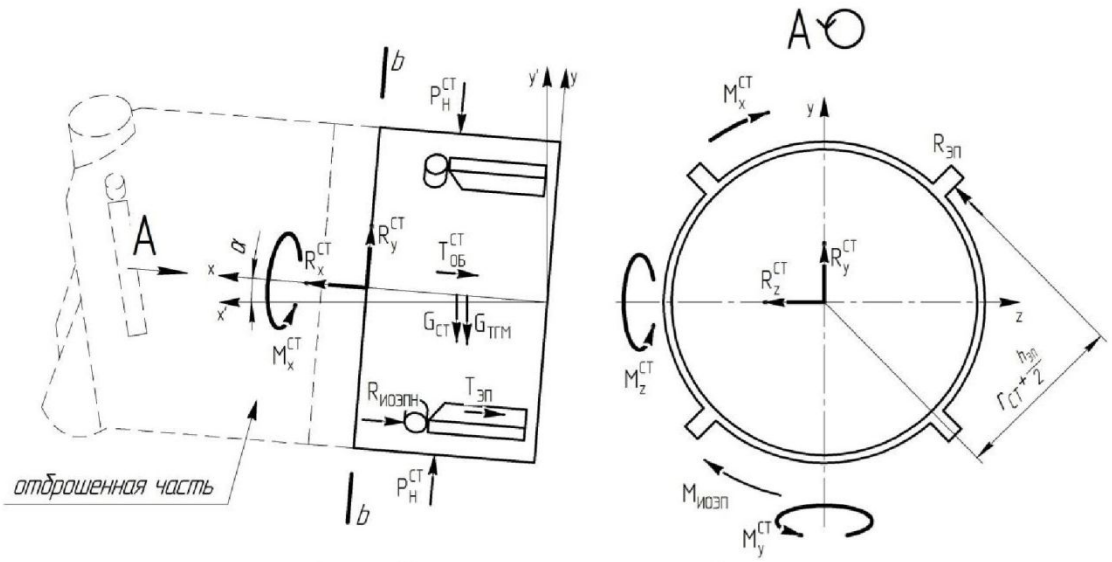


Рис. 4. Хвостовая часть расчетной схемы
Fig. 4. The tail part of the design scheme

$$\begin{cases} R_{ВД}\cdot\cos\beta\cdot(1-f_{ТР}\cdot tg\beta)-R_O-R_{ИОВДН}\cdot\cos\beta- \\ -(G_Г+G_{ОГМ})\cdot\sin\alpha-T^Г_{ОБ}\cdot\sin\beta-R^Г_X=0 \\ M_{ИО}-M_{ИОВД}-M_{ГМ}-R_{ВД}\cdot\left(r_Г+\frac{h_{ВД}}{2}\right)\cdot\cos\beta\cdot(f_{ТР}+tg\beta)- \\ -T^Г_{ОБ}\cdot r_Г\cdot\cos\beta-M^Г_X=0 \\ R_{ИОВДН}\cdot\sin\beta-R_{ВД}\cdot f_{ТР}\cdot\cos\beta-(G_Г+G_{ОГМ})\cdot\cos\alpha- \\ -T^Г_{ОБ}\cdot\cos\beta-R_{ВД}\cdot\sin\beta-R^Г_y=0 \end{cases}$$

(2)

Из уравнений системы (2) были получены значения $R^Г_X$, $R^Г_Y$ и $M^Г_X$:

$$R^Г_X=R_{ВД}\cdot\cos\beta\cdot(1-f_{ТР}\cdot tg\beta)-R_O-R_{ИОВДН}\cdot\cos\beta- -(G_Г+G_{ОГМ})\cdot\sin\alpha-T^Г_{ОБ}\cdot\sin\beta$$

(3)

$$R^Г_y=R_{ИОВДН}\cdot\sin\beta-R_{ВД}\cdot f_{ТР}\cdot\cos\beta- -(G_Г+G_{ОГМ})\cdot\cos\alpha-T^Г_{ОБ}\cdot\cos\beta-R_{ВД}\cdot\sin\beta \quad (4)$$

$$M^Г_X=M_{ИО}-M_{ИОВД}-M_{ГМ}-R_{ВД}\cdot \left(r_Г+\frac{h_{ВД}}{2}\right)\cdot\cos\beta\cdot(f_{ТР}+tg\beta)-T^Г_{ОБ}\cdot r_Г\cdot\cos\beta \quad (5)$$

В выражениях (3-5), описаны зависимости $R^Г_X$, $R^Г_Y$ и $M^Г_X$ от неизвестной $R_{ВД}$. Введем константы, независящие от значения неизвестной:

$$R_1=-R_O-R_{ИОВДН}\cdot\cos\beta- -(G_Г+G_{ОГМ})\cdot\sin\alpha-T^Г_{ОБ}\cdot\sin\beta$$

$$M_1=M_{ИО}-M_{ИОВД}-M_{ГМ}-T^Г_{ОБ}\cdot r_Г\cdot\cos\beta$$

$$R_2=R_{ИОВДН}\cdot\sin\beta-(G_Г+G_{ОГМ})\cdot\cos\alpha- -T^Г_{ОБ}\cdot\cos\beta$$

С учетом введенных констант R_1, R_2 и M_1, выражения (3-5) приняли вид:

$$R^Г_X=R_{ВД}\cdot\cos\beta\cdot(1-f_{ТР}\cdot tg\beta)+R_1$$

(6)

$$M^Г_X=M_1-R_{ВД}\cdot\left(r_Г+\frac{h_{ВД}}{2}\right)\cdot\cos\beta\cdot(f_{ТР}+tg\beta)$$

(7)

$$R^Г_y=R_2-R_{ВД}\cdot\cos\beta\cdot(f_{ТР}+tg\beta)$$

(8)

На хвостовой части расчетной схемы (Рисунок 4) введены уравновешивающие систему силы $R^{СТ}_X$, $R^{СТ}_Y$, $R^{СТ}_Z$, приложенные в сечении b-b и направленные вдоль осей *x, y, z* соответственно. $M^{СТ}_X$ – уравновешивающий систему крутящий момент. $M^{СТ}_Y$ и $M^{СТ}_Z$ – уравновешивающие систему изгибающие относительно осей *y* и *z* моменты.

С учетом допущений, принятых ранее, была составлена система уравнений для хвостовой части расчетной схемы (Рисунок 4):

$$\begin{cases} R^{СТ}_X-T^{СТ}_{ОБ}-(G_{СТ}+G_{ТГМ})\cdot\sin\alpha-T_{ЭП}-R_{ИОЭПН}=0 \\ -M_{ИОЭП}+R_{ЭП}\cdot\left(r_Г+\frac{h_{ЭП}}{2}\right)-M^{СТ}_X=0 \\ R^{СТ}_y-(G_{СТ}+G_{ТГМ})\cdot\cos\alpha=0 \end{cases}$$

(9)

Значение $T_{ЭП}$ было определено в работе [1]:

$$T_{ЭП}=\frac{M_{ВР}}{\left(r_Г+\frac{h_{ЭП}}{2}\right)}\cdot f_{ТР},$$

где $M_{ВР}$ – вращающий момент, развиваемый трансмиссией геохода, Нм.

После подстановки значения $T_{ЭП}$ и приведения общих членов система уравнений (9) приняла вид:

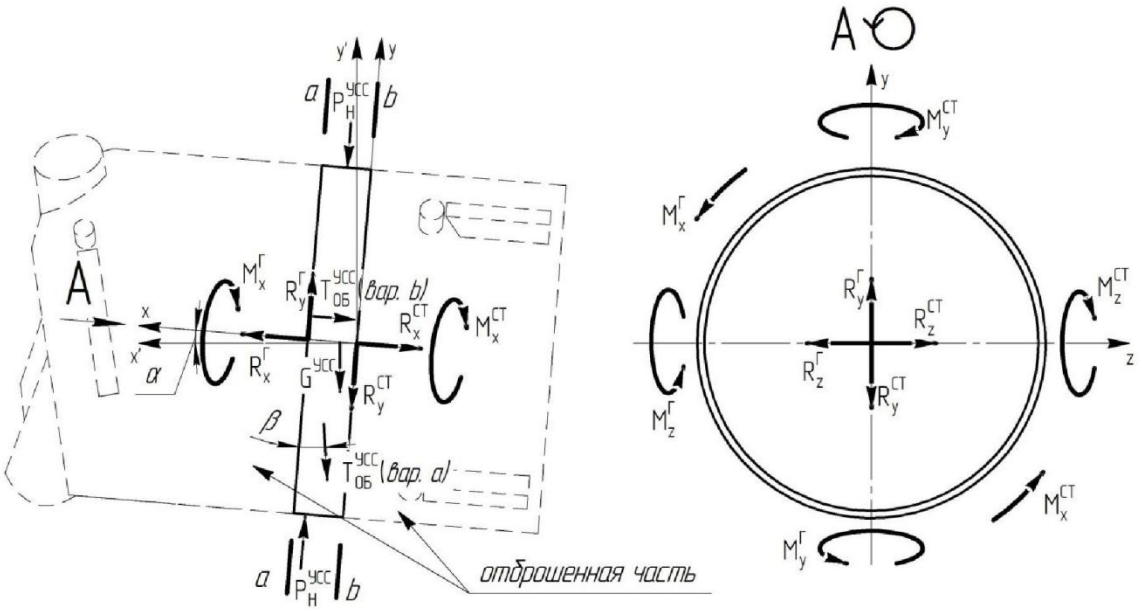


Рис. 5. Средняя часть расчетной схемы
Fig. 5. The middle part of the design scheme

$$\begin{cases} R_X^{CT} - T_{OБ}^{CT} - (G_{CT} + G_{TTM}) \cdot \sin\alpha - \dfrac{M_{BP}}{\left(r_Г + \dfrac{h_{ЭП}}{2}\right)} \cdot f_{TP} - R_{ИОЭПН} = 0 \\ -M_{ИОЭП} + R_{ЭП} \cdot \left(r_Г + \dfrac{h_{ЭП}}{2}\right) - M_X^{CT} = 0 \\ R_y^{CT} - (G_{CT} + G_{TTM}) \cdot \cos\alpha = 0 \end{cases}$$

(10)

Из уравнений системы (10) были получены значения R_X^{CT}, R_Y^{CT} и M_X^{CT}:

$$R_X^{CT} = T_{OБ}^{CT} + (G_{CT} + G_{TTM}) \cdot \sin\alpha + \frac{M_{BP}}{\left(r_Г + \dfrac{h_{ЭП}}{2}\right)} \cdot f_{TP} + R_{ИОЭПН}$$

(11)

$$R_y^{CT} = (G_{CT} + G_{TTM}) \cdot \cos\alpha$$

(12)

$$M_X^{CT} = -M_{ИОЭП} + R_{ЭП} \cdot \left(r_Г + \frac{h_{ЭП}}{2}\right)$$

(13)

В выражениях (11-13), описаны зависимости R_X^{CT} и M_X^{CT} от неизвестных $R_{ЭП}$ и M_{BP}. Введем константы, независящие от значений неизвестных:

$$R_3 = T_{OБ}^{CT} + (G_{CT} + G_{TTM}) \cdot \sin\alpha + R_{ИОЭПН}$$

$$R_4 = r_Г + \frac{h_{ЭП}}{2}$$

С учетом введенных констант R_3 и R_4, выражения (11, 13) приняли вид:

$$R_X^{CT} = R_3 + \frac{f_{TP}}{R_4} \cdot M_{BP}$$

$$M_X^{CT} = -M_{ИОЭП} + R_4 \cdot R_{ЭП} \qquad (14)$$

(15)

Рассмотрим среднюю часть расчетной схемы (Рисунок 5).

Как говорилось ранее, направление силы трения оболочки УСС о породу выработки меняется в зависимости от выбранной компоновки УСС. Системы уравнений для средней части расчетной схемы при разных компоновках будут также различны. Была составлена система уравнений для средней части расчетной схемы (Рисунок 5) для случая, когда внешняя оболочка УСС сопряжена с головной секцией геохода:

$$\begin{cases} R_X^{Г} - R_X^{CT} - G^{УСС} \cdot \sin\alpha - T_{OБ}^{УСС} \cdot \sin\beta = 0 \\ M_X^{CT} + M_X^{Г} - T_{OБ}^{УСС} \cdot r_Г \cdot \cos\beta = 0 \\ R_y^{Г} - R_y^{CT} - G^{УСС} \cdot \cos\alpha - T_{OБ}^{УСС} \cdot \cos\beta = 0 \end{cases} \qquad (16)$$

После подстановки выражений (6-8, 12,14,15) система уравнений (16) приняла вид:

$$\begin{cases} R_{ВД} \cdot \cos\beta \cdot (1 - f_{TP} \cdot tg\beta) + R_1 - R_3 - \dfrac{f_{TP}}{R_4} \cdot M_{BP} - \\ - G^{УСС} \cdot \sin\alpha - T_{OБ}^{УСС} \cdot \sin\beta = 0 \\ -M_{ИОЭП} + R_4 \cdot R_{ЭП} + M_1 - R_{ВД} \cdot \left(r_Г + \dfrac{h_{ВД}}{2}\right) \cdot \\ \cos\beta \cdot (f_{TP} + tg\beta) - T_{OБ}^{УСС} \cdot r_Г \cdot \cos\beta = 0 \\ R_2 - R_{ВД} \cdot \cos\beta \cdot (f_{TP} + tg\beta) - \\ -(G_{CT} + G_{TTM} + G^{УСС}) \cdot \cos\alpha - T_{OБ}^{УСС} \cdot \cos\beta = 0 \end{cases} \qquad (17)$$

Получилась система из трех уравнений с тремя неизвестными $R_{ВД}$, $R_{ЭП}$ и M_{BP}. Введем константы, независящие от значения неизвестных:

$$R_5 = R_1 - R_3 - G^{УСС} \cdot \sin\alpha - T_{OБ}^{УСС} \cdot \sin\beta$$

$$R_6 = R_2 - (G_{CT} + G_{TTM} + G^{УСС}) \cdot \cos\alpha - T_{OБ}^{УСС} \cdot \cos\beta$$

$$M_2 = -M_{ИОЭП} + M_1 - T_{ОБ}^{УСС} \cdot r_Г \cdot \cos\beta$$

С учетом введенных констант R_5, R_6, M_2, система уравнений (17) приняла вид:

$$\begin{cases} R_{ВД} \cdot \cos\beta \cdot (1 - f_{ТР} \cdot tg\beta) - \frac{f_{ТР}}{R_4} \cdot M_{ВР} + R_5 = 0 \\ R_4 \cdot R_{ЭП} - R_{ВД} \cdot \left(r_Г + \frac{h_{ВД}}{2}\right) \cdot \cos\beta \cdot (f_{ТР} + tg\beta) + M_2 = 0 \\ R_6 - R_{ВД} \cdot \cos\beta \cdot (f_{ТР} + tg\beta) = 0 \end{cases}$$

(18)

Из уравнений системы (18) выразим неизвестные $R_{ВД}$, $R_{ЭП}$ и $M_{ВР}$:

$$R_{ВД} = \frac{R_6}{\cos\beta \cdot (f_{ТР} + tg\beta)}$$

(19)

$$R_{ЭП} = \left[R_6 \cdot \left(r_Г + \frac{h_{ВД}}{2} \right) - M_2 \right] \cdot \frac{1}{R_4}$$

(20)

$$M_{ВР} = \left(\frac{R_6 \cdot (1 - f_{ТР} \cdot tg\beta)}{f_{ТР} + tg\beta} + R_5 \right) \cdot \frac{R_4}{f_{ТР}}$$

(21)

При втором варианте компоновки УСС система уравнений для средней, отсеченной части расчетной схемы приняла вид:

$$\begin{cases} R_X^Г - R_X^{СТ} - G^{УСС} \cdot \sin\alpha - T_{ОБ}^{УСС} = 0 \\ M_X^{СТ} + M_X^Г = 0 \\ R_y^Г - R_y^{СТ} - G^{УСС} \cdot \cos\alpha = 0 \end{cases}$$

Полученная система уравнений была решена аналогично решению системы (16). Неизвестные, определяемые в системе уравнений для второго варианта компоновки были обозначены с добавлением апострофа ($R'_{ВД}$, $R'_{ЭП}$, $M'_{ВР}$). Значения неизвестных для второго варианта компоновки равны:

$$R'_{ВД} = \frac{R_6 + T_{ОБ}^{УСС} \cdot \cos\beta}{\cos\beta \cdot (f_{ТР} + tg\beta)}$$

(22)

$$R'_{ЭП} = \left[(R_6 + T_{ОБ}^{УСС} \cdot \cos\beta) \cdot \left(r_Г + \frac{h_{ВД}}{2} \right) - M_2 - T_{ОБ}^{УСС} \cdot r_Г \cdot \cos\beta \right] \cdot \frac{1}{R_4}$$

(23)

$$M'_{ВР} = \left[\frac{(R_6 + T_{ОБ}^{УСС} \cdot \cos\beta) \cdot (1 - f_{ТР} \cdot tg\beta)}{f_{ТР} + tg\beta} + R_5 + T_{ОБ}^{УСС} \cdot (\sin\beta - 1) \right] \cdot \frac{R_4}{f_{ТР}}$$

(24)

Заключение: Полученные выражения являются математической моделью взаимодействия УСС с геосредой и смежными системами геохода. Модель учитывает вариативность компоновки УСС. В выражениях (6-8, 11-13) определены силы взаимодействия УСС с секциями геохода. Установлено, что эти силы не зависят от компоновки УСС. В выражениях (19-21, 22-24) для обоих вариантов компоновки УСС определены реакции пород контура выработки на законтурные элементы геохода и вращающий момент, развиваемый трансмиссией.

В дальнейшем полученные результаты позволят:

- провести сравнительный анализ разных компоновок УСС;
- определить внутренние взаимодействия УСС (взаимодействие элементов УСС между собой).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов В.В. Научные основы геовинчестерной технологии проведения горных выработок и создания винтоповоротных агрегатов: дис. д-ра техн. наук. Кемерово: ИУУ СО РАН, 2004. 307 с.
2. Ефременков А.Б. Разработка научных основ создания систем геохода: дис. д-ра техн. наук. Юрга: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2016. 314 с.
3. A.V. Walter, I.F. Borovikov, M.F. Savin, Research on Geometrical Errors of Geokhod Prototype Shell Based on Coordinate Control Data // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016 В. 142(1). С. 012129.
4. Walter A.V., Chernukhin R.V., Nozirzoda S.S., Borovikov I.F. Research on Geometric Errors of Intermediate Unit Shell of a Geokhod // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2016. В. 127. С. 012017.
5. D.V. Lychagin, A.A. Lasukov, A.V. Walter, D.A. Arkhipova, Systematic Classifier of Manufacturing Processes for Medium Size Shafts // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. В. 125(1) С. 012030.
6. Вальтер А.В., Нозирзода Ш.С., Ивкин А.Н. Исследование точности изготовления крупногабаритных корпусов вращения опытного образца геохода // Научно-методический электронный журнал КОНЦЕПТ. 2016. В. 11. С. 2026-2030.
7. Вальтер А.В. Факторы, обуславливающие погрешности поверхностей вращения крупногабаритных корпусов геохода // Горное оборудование и электромеханика. 2016. В. 8(126). С. 19-25.
8. Вальтер А.В., Аксенов В.В., Бегляков В.Ю., Чазов П.А. Определение погрешности расположения секторов стабилизирующей секции геохода на основе данных координатного контроля // Обработка металлов (технология оборудование инструменты). 2015. В. 4 (69). С. 31–42.

9. Аксенов В.В., Вальтер А.В., Бегляков В.Ю. Обеспечение геометрической точности оболочки при сборке секций геохода // Обработка металлов (технология оборудование инструменты). 2014. В. 4 (65). С. 19–28.

10. Дронов А.А., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю. Формирование требований к узлу сопряжения секций геохода // Горное оборудование и электромеханика. 2016. В. 8 (126). С. 39–42.

11. A.B. Efremenkov, Forming the subterranean space by means of a new tool (geohod) // IFOST. 2011. B. 1. C. 348-350.

12. Blaschuk M. , Dronov A., Koperchuk A., Chernukhin R., Litvinenko V. Kinematic Parameters Of Rotary Transmission With Hydraulic Cylinders // E3S Web Conf. 2017. B. 15. C. 03003.

13. Бегляков В.Ю., Аксенов В.В. Поверхность забоя при проходке горной выработки геоходом. Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. 149 с.

14. Тимофеев В.Ю. Обоснование параметров трансмиссии геохода с волновой передачей: дис. кан-та техн. наук. Юрга: Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2012. 145 с.

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

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

17. Нестеров В.И., Ананьев К.А. Определение точки входа резца барабанного исполнительного органа геохода в контакт с породой // Горное оборудование и электромеханика. 2015. В. 7 (116). С. 45–48.

18. Нестеров В.И., Ананьев К.А. Сравнение износа режущего инструмента на законтурных исполнительных органах геоходов // Горное оборудование и электромеханика. 2015. В. 7 (116). С. 41–45.

19. Садовец В.Ю. Обоснование конструктивных и силовых параметров ножевых исполнительных органов геоходов: дис. кан-та техн. наук. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2007. 153 с.

20. Садовец В.Ю., Пашков Д.А. Влияние параметров образующей геликоида на форму ножевого исполнительного органа геохода – сборник материалов XVI международной научно-практической конференции « Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири» / КузГТУ. – Изд-во КузГТУ, 2016. С. 51.

REFERENCES

1. Aksenov V.V. Nauchnye osnovy geovinchesternoj tehnologii provedenija gornyh vyrabotok i sozdanija vintopovorotnyh agregatov: dis. d-ra tehn. nauk. Keme-rovo: IUU SO RAN, 2004. 307 s.

2. Efremenkov A.B. Razrabotka nauchnyh osnov sozdanija sistem geohoda: dis. d-ra tehn. nauk. Jurga: Nacional'nyj issledovatel'skij Tomskij politehnicheskij universitet, 2016. 314 s.

3. A.V. Walter, I.F. Borovikov, M.F. Savin, Research on Geometrical Errors of Geokhod Prototype Shell Based on Coordinate Control Data // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016 V. 142(1). S. 012129.

4. Walter A.V., Chernukhin R.V., Nozirzoda S.S., Borovikov I.F. Research on Geometric Errors of Intermediate Unit Shell of a Geokhod // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2016. V. 127. S. 012017.

5. D.V. Lychagin, A.A. Lasukov, A.V. Walter, D.A. Arkhipova, Systematic Classifier of Manufacturing Processes for Medium Size Shafts // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. V. 125(1) S. 012030.

6. Walter A.V., Nozirzoda SH.S., Ivkin A.N. Issledovanie tochnosti izgotovlenija krupnogabaritnyh korpusov vrashhenija opytnogo obrazca geohoda // Nauchno-metodicheskij jelektronnyj zhurnal KONCEPT. 2016. V. 11. S. 2026-2030.

7. Walter A.V. Faktory, obuslavlivajushhie pogreshnosti poverhnostej vrashhenija krupnogabaritnyh korpusov geohoda // Gornoe oborudovanie i jelektromeha-nika. 2016. V. 8(126). S. 19-25.

8. Walter A.V., Aksenov V.V., Begljakov V.Ju., Chazov P.A. Opredelenie pogreshnosti raspolozhenija sektorov stabilizirujushhej sekcii geohoda na osnove dannyh koordinatnogo kontrolja // Obrabotka metallov (tehnologija oborudovanie instrumenty). 2015. V. 4 (69). S. 31–42.

9. Aksenov V.V., Walter A.V., Begljakov V.Ju. Obespechenie geometricheskoj tochnosti obolochki pri sborke sekcij geohoda // Obrabotka metallov (tehnologija oborudovanie instrumenty). 2014. V. 4 (65). S. 19–28.

10. Dronov A.A., Blashhuk M.Ju., Timofeev V.Ju. Formirovanie trebovanij k uzlu soprjazhenija sekcij

geohoda // Gornoe oborudovanie i jelektromehanika. 2016. V. 8 (126). S. 39–42.

11. A.B. Efremenkov, Forming the subterranean space by means of a new tool (geohod) // IFOST. 2011. V. 1. S. 348-350.

12. Blaschuk M. , Dronov A., Koperchuk A., Chernukhin R., Litvinenko V. Kinematic Parameters Of Rotary Transmission With Hydraulic Cylinders // E3S Web Conf. 2017. V. 15. S. 03003.

13. Begljakov V.Ju., Aksenov V.V. Poverhnost' zaboja pri prohodke gornoj vyrabotki geohodom. Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. 149 s.

14. Timofeev V.Ju. Obosnovanie parametrov transmissii geohoda s volnovoj peredachej: dis. kan-ta tehn. nauk. JUrga: Kuzbasskij gosudarstvennyj tehnicheskij universitet imeni T. F. Gorbacheva, 2012. 145 s.

15. Ananiev K.A. Sozdanie ispolnitel'nogo organa geohoda dlja razrushenija porod srednej kreposti: dis. kan-ta tehn. nauk. Kemerovo: Kuzbasskij gosudarstvennyj tehnicheskij universitet imeni T. F. Gorbacheva, 2016. 144 s.

16. Ermakov A.N. Obosnovanie parametrov zakonturnyh ispolnitel'nyh organov geohodov dlja razrushenija porod srednej kreposti: dis. kan-ta tehn. nauk. Kemerovo: Kuzbasskij gosudarstvennyj tehnicheskij universitet imeni T. F. Gorbacheva, 2016. 158 s.

17. Nesterov V.I., Ananiev K.A. Opredelenie tochki vhoda rezca barabannogo ispolnitel'nogo organa geohoda v kontakt s porodoj // Gornoe oborudovanie i jelek-tromehanika. 2015. V. 7 (116). S. 45–48.

18. Nesterov V.I., Ananiev K.A. Sravnenie iznosa rezhushhego instrumenta na zakonturnyh ispolnitel'nyh organah geohodov // Gornoe oborudovanie i jelektromehanika. 2015. V. 7 (116). S. 41–45.

19. Sadovets V.JU. Obosnovanie konstruktivnyh i silovyh parametrov nozhe-vyh ispolnitel'nyh organov geohodov: dis. kan-ta tehn. nauk. Kemerovo: Kuzbasskij gosudarstvennyj tehnicheskij universitet imeni T. F. Gorbacheva, 2007. 153 s.

20. Sadovets V.JU., Pashkov D.A. Vlijanie parametrov obrazujushhej gelikoida na formu nozhevogo ispolnitel'nogo organa geohoda – sbornik materialov XVI mezhduna-rodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii « Prirodnye i intellektual'nye resur-sy Sibiri» / KuzGTU. – Izd-vo KuzGTU, 2016. S. 51.

Поступило в редакцию 01.05.2018
Received 01.05.2018