

УДК 622.23.05, 51-74

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВНЕШНИХ НАГРУЗОК И ВНУТРЕННИХ СИЛ В УЗЛЕ СОПРЯЖЕНИЯ СЕКЦИЙ ГЕОХОДА

Дронов А.А., аспирант гр. А4-04, IV курс,

Литвиненко В.В., студент гр. 10730, V курс

Научный руководитель: Дронов А.А., ст. преподаватель кафедры ГШО

Юргинский технологический институт Национального

исследовательского Томского политехнического университета

г. Юрга

Геоход – новый класс проходческой горной техники. Во время проходки горной выработки, геоход создает систему законтурных каналов, которые используются как опорный элемент для формирования напорных усилий [1]. Головная секция геохода, осуществляющая вращательно-поступательное движение, сопрягается со стабилизирующей секцией, осуществляющей только поступательное движение, узлом сопряжения секций (УСС) [2,3]. Определению сил и моментов, действующих на геоход во время движения в горном массиве, был посвящен ряд работ [4-17]. Отсутствие методик определения параметров УСС является одним из сдерживающих геоходостроение факторов.

Геоход был рассмотрен как твердое тело, которое под действием внешних сил находится в состоянии равновесия. Для определения внешних нагрузок, действующих на УСС со стороны головной и стабилизирующей секций, были составлены расчетные схемы (рисунки 1, 2). На схемах введены уравновешивающие систему силы ( $R_x^r, R_y^r, R_z^r, R_x^{ct}, R_y^{ct}, R_z^{ct}$ ) и моменты ( $M_x^r, M_y^r, M_z^r, M_x^{ct}, M_y^{ct}, M_z^{ct}$ ).

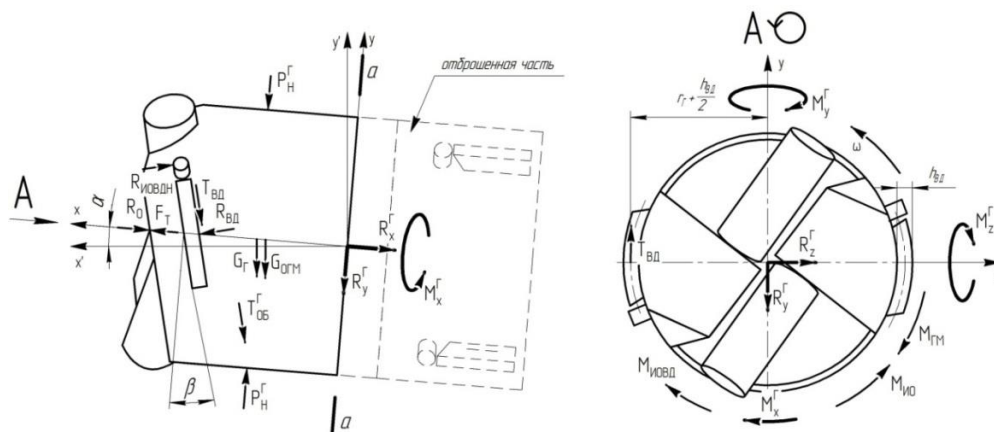


Рис. 1. Расчетная схема для определения внешних нагрузок, действующих на УСС со стороны головной секции

Были принято допущение, что геоход осуществляет абсолютно прямолинейное передвижение с произвольным углом проведения выработки  $\alpha$ . Тогда допускается принять, что уравновешивающие систему силы и моменты относительно осей  $x$  и  $y$  равны нулю.

Была составлена система уравнений для расчетной схемы (Рисунок 1):

$$\begin{cases} F_T - R_O - R_{\text{иовдн}} \cdot \cos \beta - (G_T + G_{\text{огм}}) \cdot \sin \alpha - T_{\text{вд}} \cdot \sin \beta - T_{\text{об}}^r \cdot \sin \beta - R_x^r = 0 \\ M_{\text{но}} - M_{\text{иовд}} - M_{\text{гм}} - T_{\text{вд}} \cdot \left( r_T + \frac{h_{\text{вд}}}{2} \right) \cdot \cos \beta - R_{\text{вд}} \cdot \left( r_T + \frac{h_{\text{вд}}}{2} \right) \cdot \sin \beta - \\ - T_{\text{об}}^r \cdot r_T \cdot \cos \beta - M_x^r = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Значения  $T_{\text{вд}}$  и  $F_T$  были определены в работе [1]:

$$T_{\text{вд}} = |R_{\text{вд}}| \cdot f_{\text{тр}},$$

$$F_T = R_{\text{вд}} \cdot \cos \beta,$$

где  $f_{\text{тр}}$  – коэффициент трения стали о вмещающую породу.

Были получены значения уравновешивающих систему сил и моментов:

$$R_x^r = R_{\text{вд}} \cdot \cos \beta \cdot (1 - f_{\text{тр}} \cdot \text{tg} \beta) - R_O - R_{\text{иовдн}} \cdot \cos \beta - (G_T + G_{\text{огм}}) \cdot \sin \alpha - T_{\text{об}}^r \cdot \sin \beta \quad (2)$$

$$M_x^r = M_{\text{но}} - M_{\text{иовд}} - M_{\text{гм}} - R_{\text{вд}} \cdot \left( r_T + \frac{h_{\text{вд}}}{2} \right) \cdot \cos \beta \cdot (f_{\text{тр}} + \text{tg} \beta) - T_{\text{об}}^r \cdot r_T \cdot \cos \beta \quad (3)$$

В выражениях (2,3), описаны зависимости  $R_x^r$  и  $M_x^r$  от неизвестной  $R_{\text{вд}}$ .

Введем константы, независящие от значения неизвестной:

$$R_1 = -R_O - R_{\text{иовдн}} \cdot \cos \beta - (G_T + G_{\text{огм}}) \cdot \sin \alpha - T_{\text{об}}^r \cdot \sin \beta$$

$$M_1 = M_{\text{но}} - M_{\text{иовд}} - M_{\text{гм}} - T_{\text{об}}^r \cdot r_T \cdot \cos \beta$$

С учетом введенных констант выражения (2,3) приняли вид:

$$R_x^r = R_{\text{вд}} \cdot \cos \beta \cdot (1 - f_{\text{тр}} \cdot \text{tg} \beta) + R_1 \quad (4)$$

$$M_x^r = M_1 - R_{\text{вд}} \cdot \left( r_T + \frac{h_{\text{вд}}}{2} \right) \cdot \cos \beta \cdot (f_{\text{тр}} + \text{tg} \beta) \quad (5)$$

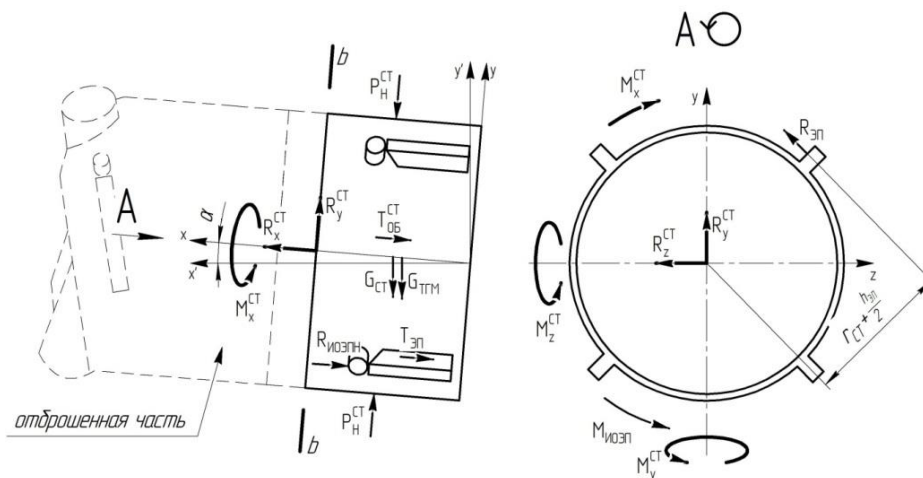


Рис. 2. Расчетная схема для определения внешних нагрузок, действующих на УСС со стороны стабилизирующей секции

Была составлена система уравнений для расчетной схемы (Рисунок 2):

$$\begin{cases} R_x^{CT} - T_{OB}^{CT} - (G_{CT} + G_{TGM}) \cdot \sin \alpha - T_{ЭП} - R_{ИОЭП} = 0 \\ -M_{ИОЭП} + R_{ЭП} \cdot \left( r_{\Gamma} + \frac{h_{ЭП}}{2} \right) - M_x^{CT} = 0 \end{cases} \quad (6)$$

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

$$T_{ЭП} = \frac{M_{BP}}{\left( r_{\Gamma} + \frac{h_{ЭП}}{2} \right)} \cdot f_{TP},$$

где  $M_{BP}$  – вращающий момент, развиваемый трансмиссией геолода, Нм.

Были получены значения уравновешивающих систему сил и моментов:

$$R_x^{CT} = T_{OB}^{CT} + (G_{CT} + G_{TGM}) \cdot \sin \alpha + \frac{M_{BP}}{\left( r_{\Gamma} + \frac{h_{ЭП}}{2} \right)} \cdot f_{TP} + R_{ИОЭП} \quad (7)$$

$$M_x^{CT} = -M_{ИОЭП} + R_{ЭП} \cdot \left( r_{\Gamma} + \frac{h_{ЭП}}{2} \right) \quad (8)$$

В выражениях (7,8), описаны зависимости  $R_x^{CT}$  и  $M_x^{CT}$  от неизвестных  $M_{BP}$  и  $R_{ЭП}$ . Введем константы, независимые от значения неизвестных:

$$R_2 = T_{OB}^{CT} + (G_{CT} + G_{TGM}) \cdot \sin \alpha + R_{ИОЭП}$$

$$R_3 = r_{\Gamma} + \frac{h_{ЭП}}{2}$$

С учетом введенных констант выражения (7,8) приняли вид:

$$R_x^{CT} = R_2 + \frac{f_{TP}}{R_3} \cdot M_{BP} \quad (9)$$

$$M_x^{CT} = -M_{ИОЭП} + R_3 \cdot R_{ЭП} \quad (10)$$

Для определения внутренних сил в УСС были составлены расчетные схемы для разных компоновок УСС (рисунок 3).

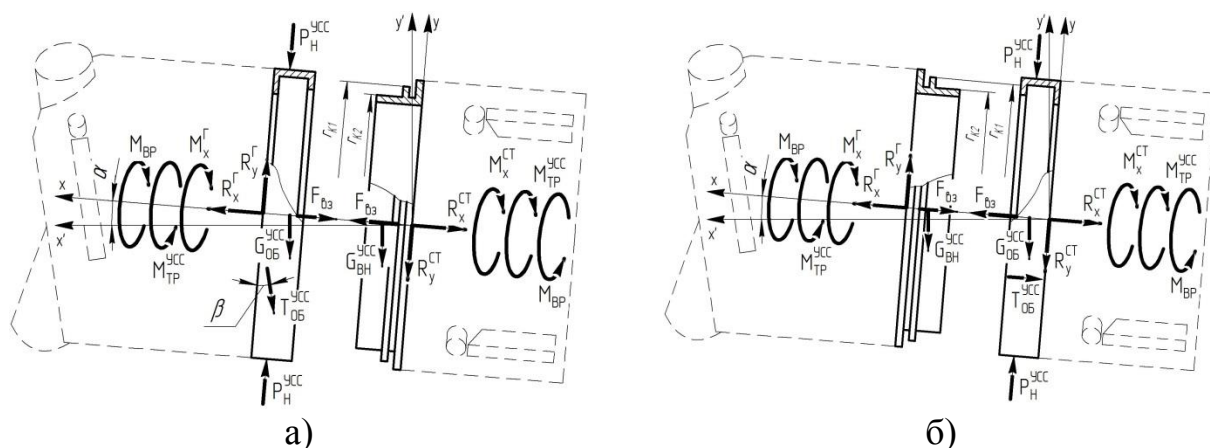


Рис. 3. Расчетные схемы по определению внутренних сил в УСС геолода а) при сопряжении оболочки УСС с головной секцией геолода, б) при сопряжении

## оболочки УСС со стабилизирующей секцией геодода

Для полученных расчетных схем были составлены системы уравнений. В ходе решения данных систем были введены константы (11-13). Выражения, описывающие неизвестные, полученные в ходе решения, приведены в таблице 1.

$$R_4 = -M_1 + (R_2 + G_{BH}^{ycc} \cdot \sin \alpha) \cdot f_{TP1} \cdot r_{KCP} + T_{OB}^{ycc} \cdot r_{\Gamma} \cdot \cos \beta \quad (11)$$

$$R_5 = \left( r_{\Gamma} + \frac{h_{BD}}{2} \right) \cdot \cos \beta \cdot (f_{TP} + tg \beta) \quad (12)$$

$$R_6 = 1 - \frac{f_{TP}}{R_3} \cdot f_{TP1} \cdot r_{KCP} \quad (13)$$

Таблица.1. Сопоставление неизвестных, при различных компоновках геодода.

При сопряжении оболочки УСС с головной секцией геодода	При сопряжении оболочки УСС со стабилизирующей секцией геодода
$R_{BD} = \frac{-R_1 + R_2 + \frac{f_{TP} \cdot R_4}{R_3 \cdot R_6} + (G_{BH}^{ycc} + G_{OB}^{ycc}) \cdot \sin \alpha + T_{OB}^{ycc} \cdot \sin \beta}{(\cos \beta - f_{TP} \cdot \sin \beta) - \frac{f_{TP} \cdot R_5}{R_3 \cdot R_6}}$	$R'_{BD} = \frac{-R_1 + R_2 + \frac{f_{TP} \cdot (R_4 + R_7)}{R_3 \cdot R_6} + T_{OB}^{ycc} + (G_{OB}^{ycc} + G_{BH}^{ycc}) \cdot \sin \alpha}{\cos \beta \cdot (1 - f_{TP} \cdot tg \beta) - \frac{f_{TP} \cdot R_5}{R_3 \cdot R_6}}$
$M_{BP} = \frac{R_4 + R_{BD} \cdot R_5}{R_6}$	$M'_{BP} = \frac{R_4 + R'_{BD} \cdot R_5 + R_7}{R_6}$
$F_{B3} = R_2 + \frac{f_{TP} \cdot (R_4 + R_{BD} \cdot R_5)}{R_3 \cdot R_6} + G_{BH}^{ycc} \cdot \sin \alpha$	$F'_{B3} = R_2 + \frac{f_{TP} \cdot (R_4 + R'_{BD} \cdot R_5 + R_7)}{R_3 \cdot R_6} + G_{OB}^{ycc} \cdot \sin \alpha + T_{OB}^{ycc}$

Полученные выражения являются математической моделью взаимодействия УСС с геосредой и смежными системами геодода, а также взаимодействия элементов УСС между собой. В дальнейшем полученные результаты позволят провести сравнительный анализ разных компоновок УСС.

**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. Дронов А.А., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю. Формирование требований к узлу сопряжения секций геодода // Горное оборудование и электромеханика. 2016. № 8 (126). С. 39–42.
3. Дронов А.А. Обоснование необходимости разработки узла сопряжения секций геодода // Проблемы геологии и освоения недр: труды XVII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова. 2013. В. 2. С. 313–314.

4. Аксенов В.В., Вальтер А.В. Специфика геохода как предмета производства // Научное обозрение. 2014. В. 8, Ч. 3. С. 945–950.

5. 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. № 4 (69). С. 31–42.

6. Вальтер А.В., Аксенов В.В. Варианты обеспечения точности оболочек и собираемости корпусов геохода // Механики XXI Веку. 2015. № 14. С. 89–92.

7. Аксенов В.В., Вальтер А.В., Бегляков В.Ю. Обеспечение геометрической точности оболочки при сборке секций геохода // Обработка металлов (технология оборудование инструменты). 2014. № 4 (65). С. 19–28.

8. Аксенов В.В., Бегляков В.Ю., Блащук М.Ю., Ефременков А.Б., Казанцев А.А., Хорешок А.А., Вальтер А.В. Геоход: задачи, характеристики, перспективы // Горное оборудование и электромеханика. 2016. № 8 (126). С. 3–8.

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

10. 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.

11. Ефременков А.Б. Разработка научных основ создания систем геохода: дис. д-ра техн. наук. Юрга: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2016. 314 с.

12. Блащук М.Ю. Обоснование параметров трансмиссии геохода с гидроприводом: дис. кан-та техн. наук. Юрга: Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2012. 155 с.

13. 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.

14. 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.

15. Аксенов В.В., Ананьев К.А., Бегляков В.Ю. Использование параметров поверхности взаимодействия исполнительного органа геохода с породой забоя для формирования исходных данных к проектированию разрушающего модуля // Горный ин-формационно-аналитический бюллетень. 2012. № 2. С. 56–62.

16. Blaschuk M.Y., Dronov A.A., Ganovichev S.S. Calculation of Free Interior Dimensions in Geokhod Transmission With Hydraulic Cylinders // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2016. B. 127. C. 012033.

17. Blaschuk M.Y., Dronov A.A., Ganovichev S.S. Calculation of Geometrical Parameters of Geokhod Transmission With Hydraulic Cylinders // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2016. B. 142. C. 012128.