

УДК 622.23.05

Аксенов Владимир Валерьевич¹, доктор техн. наук, Садовец Владимир Юрьевич³, канд. техн. наук, доцент, Прейс Елена Валерьевна³, канд. техн. наук, доцент, Пашков Дмитрий Алексеевич², аспирант.

¹Научно-исследовательский центр ООО "Сибирское НПО" 650002, Россия, г. Кемерово, Сосновый бульвар, 1.

²Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского Отделения Российской академии наук, 650065, Россия, г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10.

³Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28.

E-mail: 55vva42@mail.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ НОЖЕВОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ГЕОХОДА

Аннотация: В статье ставится задача рационализации математической модели определения сил резания на ноже исполнительного органа геохода. Актуальность работы заключается в необходимости получения выражений для определения сил сопротивления грунта резанию на участках ножевого исполнительного органа геохода. В статье обоснованы граничные условия для определения характерных точек на радиальном ноже исполнительного органа геохода. Результатом работы являются полученные выражения для определения: $P_{0,св}$ – проекции силы сопротивления грунта резанию, зависящей от ширины резания, на главную ось вращения геохода, $R_{и0,св}$ – проекции силы сопротивления грунта резанию на плоскость, которая расположена перпендикулярно главной оси вращения геохода. На основании проведенной работы определены задачи для дальнейших исследований.

Ключевые слова: горные машины, геоход, геоходная технология, исполнительный орган, нож.

Информация о статье: принята 19 ноября 2018 г.

DOI: 10.26730/1816-4528-2018-5-16-21

Введение. Современные технологии строительства подземных сооружений, а также добычи полезных ископаемых подземным способом стремительно развиваются. Одним из направлений развития этих технологий является применение роботов. Однако в технологиях образования полости в подземном пространстве практически не используются устройства, способные выполнять операции технологического цикла в совмещенном режиме. [1-3].

В связи с этой актуальной проблемой возникают задачи разработки новых подходов к технологиям строительства подземных сооружений в области создания новых машин и механизмов, способных в автоматических режимах на уровне роботизации выполнять все процессы для образования полости в подземном пространстве [4-6].

Одним из новых подходов к формированию полости в подземном пространстве является геоходная технология. В этом подходе за базовый элемент (подземный робот), способный выполнять основные операции технологического цикла строительства подземных сооружений, принят геоход.

В настоящее время коллектив авторов разрабатывает элементы геоходной технологии, при которой остро возникает необходимость разработки конструктивных и рациональных технических решений органов разрушения забоя, применение которых позволяет образовывать полости в массиве мягких горных пород с коэффициентом крепости до 1 по шкале М.М. Протодяконова [7-10].

Поэтому работы, направленные на обоснование параметров исполнительных органов геоходов для разрушения пород крепостью до 1, являются актуальными.

Методика исследования. При определении силовых параметров ножевого исполнительного органа геохода [11-13] силу сопротивления грунта резанию представляют двумя составляющими:

$P_{0,св}$ – проекции силы резания, зависящей от ширины резания грунта, на ось вращения геохода;

$R_{и0,св}$ – проекции силы резания на плоскость, расположенную перпендикулярно оси вращения геохода.

Ранее в работах [14-16] были получены выражения для определения составляющих силы грунта резанию $P_{0,св}$ и $R_{ио,св}$:

$$P_{o,св} = \frac{\phi m_{св} h_6 + n P_{изн}}{n \cos \gamma} \int \sin \alpha \operatorname{arctg} \frac{h_6}{2\pi x} dx - \left(\phi m_{св} \frac{h_6 \operatorname{ctg}(\delta + \phi_{TP})}{n \cos \gamma} - \frac{\operatorname{ctg}(\delta_1 + \phi_{TP})}{\cos \gamma} P_{изн} \right) \int \cos \alpha \operatorname{arctg} \frac{h_6}{2\pi x} dx \quad (1)$$

$$R_{o,св} = \frac{\phi m_{св} h_6 + n P_{изн}}{n \cos \gamma} \int \cos \alpha \operatorname{arctg} \frac{h_6}{2\pi x} dx + \left(\phi m_{св} \frac{h_6 \operatorname{ctg}(\delta + \phi_{TP})}{n \cos \gamma} - \frac{\operatorname{ctg}(\delta_1 + \phi_{TP})}{\cos \gamma} P_{изн} \right) \int \sin \alpha \operatorname{arctg} \frac{h_6}{2\pi x} dx \quad (2)$$

Кроме этого, в работах [17-20] были обоснованы граничные условия интегрирования, необходимые

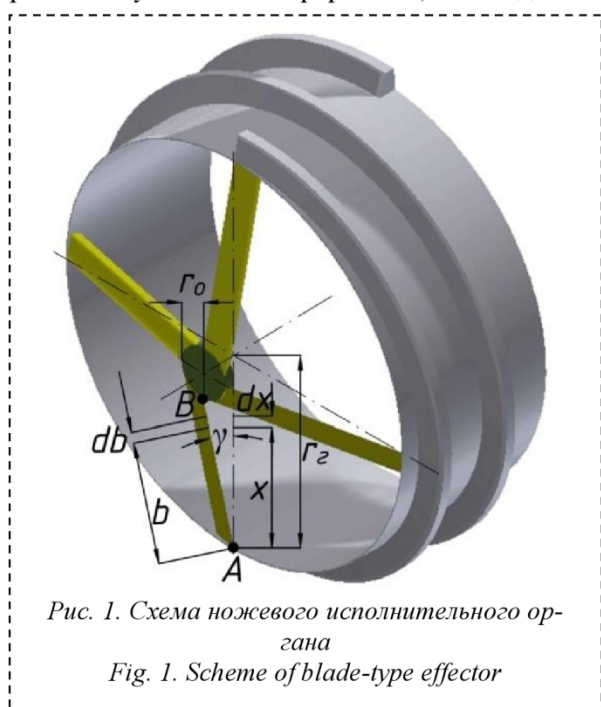


Рис. 1. Схема ножевого исполнительного органа
Fig. 1. Scheme of blade-type effector

для определения характерных точек на ноже исполнительного органа геохода.

Для получения выражений, позволяющих определять положение характерных точек, нами были сформулированы 3 задачи:

1) Получить выражение для определения радиального положения характерной точки, при котором составляющая силы резания $P_{0,св}$ в изменяющихся пределах интегрирования от 0 (центр вращения геохода) до x (координата точки ножа (рисунок 1)) будет равна составляющей силы резания $R_{ио,св}$ в изменяющихся пределах интегрирования от x до R_r (радиус геохода), т.е.

$$\int_0^x P_{с.св} dx = \int_x^{R_r} R_{ио,св} dx; \quad (3)$$

2) Получить выражение для определения радиального положения характерной точки, при котором составляющая силы резания $P_{0,св}$ в изменяющихся

пределах интегрирования от 0 до x будет равна составляющей силы резания $P_{0,св}$ в изменяющихся пределах интегрирования от x до R_r , т.е.

$$\int_0^x P_{с.св} dx = \int_x^{R_r} P_{с.св} dx; \quad (4)$$

3) Получить выражение для определения радиального положения точки, при котором составляющая силы резания $R_{ио,св}$ в изменяющихся пределах интегрирования от 0 до x будет равна составляющей силы резания $R_{ио,св}$ в изменяющихся пределах интегрирования от x до R_r , т.е.

$$\int_0^x R_{ио,св} dx = \int_x^{R_r} R_{ио,св} dx; \quad (5)$$

После интегрирования выражения (1,2) примут вид

$$P_{o,св} = \frac{\phi m_{св} h_6^2 + h_6 n P_{изн}}{2\pi n \cos \gamma} \cdot \left(\ln \frac{\operatorname{tg} \left| \frac{\beta_2}{2} \right|}{\operatorname{tg} \left| \frac{\beta_1}{2} \right|} \right) - \frac{h_6}{2\pi} \left(\phi T_{св} \frac{h_6 \operatorname{ctg}(\delta + \phi_{TP})}{n \cos \gamma} - \frac{\operatorname{ctg}(\delta_1 + \phi_{TP})}{\cos \gamma} P_{изн} \right) \frac{\sin \beta_2 - \sin \beta_1}{\sin \beta_1 \sin \beta_2}; \quad (6)$$

$$R_{ио,св} = \frac{\phi m_{св} h_6^2 + h_6 n P_{изн}}{2\pi n \cos \gamma} \cdot \frac{\sin \beta_2 - \sin \beta_1}{\sin \beta_1 \sin \beta_2} + \frac{h_6}{2\pi} \left(\phi m_{св} \frac{h_6 \operatorname{ctg}(\delta + \phi_{TP})}{n \cos \gamma} - \frac{\operatorname{ctg}(\delta_1 + \phi_{TP})}{\cos \gamma} P_{изн} \right) \cdot \left(\ln \frac{\operatorname{tg} \left| \frac{\beta_2}{2} \right|}{\operatorname{tg} \left| \frac{\beta_1}{2} \right|} \right); \quad (7)$$

Полученные выражения (6, 7) являются сложными для определения значений характерных точек ножевого исполнительного органа геохода. Для преобразования выражений (6,7) предложено использование тригонометрических тождеств:

$$\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha + 1}} \quad (8)$$

$$\sin \alpha = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha + 1}} \quad (9)$$

При определении составляющих сил резания $P_{0,св}$ и $R_{ио,св}$ угол α принимается равным [14-16]:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{h_6}{2\pi x} \quad (10)$$

Тогда после подстановки выражения (8,9) примут вид

$$\cos \left(\operatorname{arctg} \frac{h_6}{2\pi x} \right) = \frac{1}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \left(\operatorname{arctg} \frac{h_6}{2\pi x} \right) + 1}} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{h_6}{2\pi x} \right)^2 + 1}}; \quad (10)$$

$$\sin \left(\operatorname{arctg} \frac{h_6}{2\pi x} \right) = \frac{\operatorname{tg} \left(\operatorname{arctg} \frac{h_6}{2\pi x} \right)}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \left(\operatorname{arctg} \frac{h_6}{2\pi x} \right) + 1}} = \frac{h_6}{2\pi x \sqrt{\left(\frac{h_6}{2\pi x} \right)^2 + 1}}; \quad (11)$$

В выражениях (1,2) можно выделить 2 вида интегралов

$$\int \sin \left(\operatorname{arctg} \frac{h_6}{2\pi x} \right) dx; \quad (12)$$

$$\int \cos \left(\arctg \frac{h_6}{2\pi x} \right) dx; \quad (13)$$

Подставим выражения (10,11) в интегралы (12,13) и проинтегрируем

$$\begin{aligned} \int \sin \left(\arctg \frac{h_6}{2\pi x} \right) dx &= \int \frac{h_6}{2\pi x \sqrt{\left(\frac{h_6}{2\pi x}\right)^2 + 1}} dx \\ &= \int \frac{h_6}{2\pi x \sqrt{\left(\frac{h_6}{2\pi x}\right)^2 + 1}} dx = \\ &= \frac{h_6}{2\pi} \int \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{h_6}{2\pi}\right)^2 + x^2}} dx = \frac{h_6}{2\pi} \ln \left(x + \sqrt{x^2 + \left(\frac{h_6}{2\pi}\right)^2} \right) \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \int \cos \left(\arctg \frac{h_6}{2\pi x} \right) dx &= \int \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{h_6}{2\pi x}\right)^2 + 1}} dx = \\ \int \frac{x}{\sqrt{\left(\frac{h_6}{2\pi}\right)^2 + x^2}} dx &= \sqrt{\left(\frac{h_6}{2\pi}\right)^2 + x^2} \end{aligned} \quad (15)$$

Результаты. С учетом пределов интегрирования $[0, x]$ из условий (3-5) выражения (14) и (15) примут вид

$$\begin{aligned} \int_0^x \sin \left(\arctg \frac{h_6}{2\pi x} \right) dx &= \frac{h_6}{2\pi} \ln \left(x + \sqrt{x^2 + \left(\frac{h_6}{2\pi}\right)^2} \right) \Big|_0^x = \\ &= \frac{h_6}{2\pi} \ln \left(x + \sqrt{x^2 + \left(\frac{h_6}{2\pi}\right)^2} \right) - \frac{h_6}{2\pi} \ln \left(\frac{h_6}{2\pi} \right) \\ &= \frac{h_6}{2\pi} \ln \left(\frac{x + \sqrt{x^2 + \left(\frac{h_6}{2\pi}\right)^2}}{\frac{h_6}{2\pi}} \right) \end{aligned} \quad (16)$$

$$\int_0^x \cos \left(\arctg \frac{h_6}{2\pi x} \right) dx = \sqrt{\left(\frac{h_6}{2\pi}\right)^2 + x^2} \Big|_0^x = \sqrt{\left(\frac{h_6}{2\pi}\right)^2 + x^2} - \frac{h_6}{2\pi} \quad (17)$$

С учетом пределов интегрирования $[x, R_z]$ из условий (3-5) выражения (14) и (15) примут вид

$$\begin{aligned} \int_x^{R_z} \sin \left(\arctg \frac{h_6}{2\pi x} \right) dx &= \frac{h_6}{2\pi} \ln \left(x + \sqrt{x^2 + \left(\frac{h_6}{2\pi}\right)^2} \right) \Big|_x^{R_z} = \\ &= \frac{h_6}{2\pi} \ln \left(R_z + \sqrt{R_z^2 + \left(\frac{h_6}{2\pi}\right)^2} \right) - \\ &\quad - \frac{h_6}{2\pi} \ln \left(x + \sqrt{x^2 + \left(\frac{h_6}{2\pi}\right)^2} \right) = \end{aligned}$$

$$= \frac{h_6}{2\pi} \ln \left(\frac{R_z + \sqrt{R_z^2 + \left(\frac{h_6}{2\pi}\right)^2}}{x + \sqrt{x^2 + \left(\frac{h_6}{2\pi}\right)^2}} \right) \quad (18)$$

$$\int_x^{R_z} \cos \left(\arctg \frac{h_6}{2\pi x} \right) dx = \sqrt{\left(\frac{h_6}{2\pi}\right)^2 + x^2} \Big|_x^{R_z} = \sqrt{\left(\frac{h_6}{2\pi}\right)^2 + R_z^2} - \sqrt{\left(\frac{h_6}{2\pi}\right)^2 + x^2} \quad (19)$$

Окончательно выражение для определения составляющей силы сопротивления грунта резанию $P_{0,cb}$ с учетом определенного выше отрезка интегрирования $[0, x]$ будет иметь вид

$$\begin{aligned} \int_0^x P_{0,cb} &= \frac{\phi m_{cb} h_6 + n P_{изн}}{n \cos \gamma} \cdot \frac{h_6}{2\pi} \ln \left(\frac{x + \sqrt{x^2 + \left(\frac{h_6}{2\pi}\right)^2}}{\frac{h_6}{2\pi}} \right) - \\ &- \left(\phi m_{cb} \frac{h_6 \operatorname{ctg}(\delta + \phi_{TP})}{n \cos \gamma} - \frac{\operatorname{ctg}(\delta_1 + \phi_{TP})}{\cos \gamma} P_{изн} \right) \left(\sqrt{\left(\frac{h_6}{2\pi}\right)^2 + x^2} - \frac{h_6}{2\pi} \right) \end{aligned} \quad (20)$$

Окончательно выражение для определения $R_{ио,cb}$ с учетом определенного выше отрезка интегрирования $[0, x]$ будет иметь вид

$$\begin{aligned} \int_0^x R_{ио,cb} &= \frac{\phi m_{cb} h_6 + n P_{изн}}{n \cos \gamma} \left(\sqrt{\left(\frac{h_6}{2\pi}\right)^2 + x^2} - \frac{h_6}{2\pi} \right) + \\ &+ \left(\phi m_{cb} \frac{h_6 \operatorname{ctg}(\delta + \phi_{TP})}{n \cos \gamma} - \frac{\operatorname{ctg}(\delta_1 + \phi_{TP})}{\cos \gamma} P_{изн} \right) \frac{h_6}{2\pi} \ln \left(\frac{x + \sqrt{x^2 + \left(\frac{h_6}{2\pi}\right)^2}}{\frac{h_6}{2\pi}} \right) \end{aligned} \quad (21)$$

Окончательно выражение для определения составляющей силы сопротивления грунта резанию $P_{0,cb}$ с учетом определенного выше отрезка интегрирования $[x, R_z]$ будет иметь вид

$$\begin{aligned} \int_x^{R_z} P_{0,cb} &= \frac{\phi m_{cb} h_6 + n P_{изн}}{n \cos \gamma} \cdot \frac{h_6}{2\pi} \ln \left(\frac{R_z + \sqrt{R_z^2 + \left(\frac{h_6}{2\pi}\right)^2}}{x + \sqrt{x^2 + \left(\frac{h_6}{2\pi}\right)^2}} \right) - \\ &- \left(\phi m_{cb} \frac{h_6 \operatorname{ctg}(\delta + \phi_{TP})}{n \cos \gamma} - \frac{\operatorname{ctg}(\delta_1 + \phi_{TP})}{\cos \gamma} P_{изн} \right) \left(\sqrt{\left(\frac{h_6}{2\pi}\right)^2 + R_z^2} - \sqrt{\left(\frac{h_6}{2\pi}\right)^2 + x^2} \right) \end{aligned} \quad (22)$$

Окончательно выражение для определения составляющей силы сопротивления грунта резанию $R_{ио,cb}$ с учетом определенного выше отрезка интегрирования $[x, R_z]$ будет иметь вид

$$\int_x^{R_z} R_{o,cb} = \frac{\phi m_{cb} h_e + n P_{изн}}{n \cos \gamma} \left(\sqrt{\left(\frac{h_e}{2\pi}\right)^2 + R_c^2} - \sqrt{\left(\frac{h_e}{2\pi}\right)^2 + x^2} \right) + \left(\phi m_{cb} \frac{h_e \operatorname{ctg}(\delta + \phi_{TP})}{n \cos \gamma} - \frac{\operatorname{ctg}(\delta + \phi_{TP})}{\cos \gamma} P_{изн} \right) \cdot \frac{h_e}{2\pi} \ln \left(\frac{R_z + \sqrt{R_z^2 + \left(\frac{h_e}{2\pi}\right)^2}}{x + \sqrt{x^2 + \left(\frac{h_e}{2\pi}\right)^2}} \right) \quad (23)$$

Выводы. Получены выражения для определения составляющих силы сопротивления грунта резанию: $P_{o,cb}$ – проекции силы резания, зависящей от ширины резания грунта, на ось вращения геогода и $R_{ио,cb}$ – проекции силы резания на плоскость, расположенную перпендикулярно оси вращения геогода.

На основе выделенных пределов интегрирования (граничных условий), получены выражения для определения радиального положения характерной точки ножа исполнительного органа: для задачи 1 уравнения 20, 21, для задачи 2 уравнения 20, 22, для задачи 3 – уравнения 21, 23.

Для проведения дальнейших исследовательских работ необходимо:

- получить значения характерных точек ножевого исполнительного органа геогода;
- определить влияние свойств геосреды на расположение характерных точек;
- определить влияние параметров геогода на расположение характерных точек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nishi S., Seiki T. Planning and design of underground space use. // Mem. Sch. Eng. Nagoya Univ. – 1997. – №1.
2. Maidl, B. Hardrock Tunnel Boring Machines / B. Maidl, L. Schmid, W. Ritz, M. Herrenknecht. Berlin: Ernst&Sohn, – 2008. – 343 p.
3. Вальтер А.В. Факторы, обуславливающие погрешности поверхностей вращения крупногабаритных корпусов геогода // Горное оборудование и электромеханика. – 2016. – № 8 (126). – С. 19–25.
4. Аксенов В. В. Синтез технических решений ножевого исполнительного модуля геогода / Аксенов В. В., Садовец В. Ю. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2006. – № 6-2 (58). – С. 33–37
5. Aksenov V. Impact of the number of blades of the geokhod cutting body on cutting forces / Aksenov V., Sadovets V., Rezanova E., Pashkov D. // E3S Web of Conferences. – 2017. – Т. 15. – С. 03015.
6. Бегляков В. Ю. Обоснование параметров поверхности взаимодействия исполнительного органа геогода с породой забоя : дис. канд. техн. наук. – Юрга, – 2012. – 139 с.
7. Аксенов В. В. Синтез технических решений нового класса горнопроходческой техники / Аксенов В. В., Садовец В. Ю., Резанова Е. В. // Известия вузов. Горный журнал – Екатеринбург, – 2009, – № 8. – С. 56–63.
8. Ефременков А. Б. Разработка научных основ создания систем геогода : дис. док. техн. наук – КузГТУ, Кемерово, 2016
9. Бегляков В. Ю., Ефременков А. Б., Блащук М. Ю., Сапожкова А. В. Выбор рациональных геометрических параметров исполнительного органа геогода / Бегляков В. Ю., Ефременков А. Б., Блащук М. Ю., Сапожкова А. В. // В сборнике: Современные техника и технологии Труды 14 Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 томах. – 2008. – С. 234–236.
10. Ермаков А. А. Определение усилий на головной секции геогода от работы барабанного исполнительного органа // В сборнике: Сборник материалов VIII Всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с международным участием "РОССИЯ МОЛОДАЯ". Ответственный редактор О.В. Тайлаков. – КузГТУ, Кемерово. – 2016. – С. 34.
11. Aksenov V. The influence of parameters on the generatrix of the helicoid form guide of geokhod bar working body / Aksenov V., Sadovets V., Pashkov D. // E3S Web of Conferences The Second International Innovative Mining Symposium. – 2017.
12. Blashchuk M. Yu. Capacity Calculation of Hydraulic Motors in Geokhod Systems for Justification of Energy-Power Block Parameters / Blashchuk M. Yu., Kasantsev A. A., Chernukhin R. V. // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – № 682. – С. 418–425.
13. Анянцев К. А. Создание исполнительного органа геогода для разрушения пород средней крепости : дис. канд. техн. наук. – Кемерово, 2016. – 145 с.
14. Wighman T. Think deeps – go underground // ENR: News – Rec. – 1998. – №4.
15. Зеленин А. М. Машины для земляных работ / Зеленин А. М., Баловнев В. И., Керов И. П. // Учебное пособие для вузов – М.: «Машиностроение», 1975. – 424 с.
16. Машины для земляных работ / под общ. ред. Волкова Д. П. – М.: Машиностроение, 1992. – 187 с.
17. Ветров Ю. А., Баладинский В. Л. Машины для специальных земляных работ. – Киев: Изд-во Киев. ун-та, 1980. – 308 с.
18. Пашков Д. А. Анализ существующих баровых исполнительных органов // В сборнике: IX Всероссийской, 62 научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая». С.Г. Костюк (отв. редактор). 2017. – С. 35011.
19. Зеленин А. Н. Основы разрушения грунтов механическими способами. – М.: Машиностроение. 1968. – 375 с.
20. Ветров Ю. А. Расчет сил резания и копания грунтов. – Киев: Изд-во Киев. ун-та, 1985. – 251 с.

Vladimir V. Aksenov¹, Dr. Sc. (Engineering), Vladimir Yu. Sadovets³, C.Sc. (Engineering), Elena V. Preis³, C.Sc. (Engineering), Dmitry A. Pashkov¹, post-graduate student.

¹Scientific and research centre LLC " Siberian Research and Production Association", 650002, 1 Sosnoviy bul., Kemerovo, Russian Federation

²Federal Research Center of Coal and Coal chemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 10, Leningradsky Ave., Kemerovo, 650065, Russian Federation

³T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, 28 Vesenniyaya St., Kemerovo, Russian Federation

IMPROVEMENT OF THE MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE CUTTING LOAD PARAMETERS OF GEOKHOD BLADE EFFECTOR

Abstract: In the presented article, the improvement of the mathematical model for determining the cutting load parameters of the geokhod blade effector is considered. The relevance of the work lies in the need to obtain expressions to determine the ground resistance to cutting on the blade portion of the geokhod effector. For this, the boundary conditions for determining the characteristic points on the radial blade of the geokhod cutting effector are determined. In the study, the expressions were obtained for determining: $P_{0,CB}$ - the projection of the ground cutting resistance force depending on the cutting width on the main axis of rotation of the geokhod, $R_{H0,CB}$ - the projection of the ground cutting resistance force to the plane which is perpendicular to the main axis of geokhod rotation. On the basis of the work carried out, tasks for further research are defined.

Keywords: mining machinery, geokhod, geokhod technology, effector, blade.

Article info: received November 19, 2018

DOI: 10.26730/1816-4528-2018-5-16-21

REFERENCES

1. Nishi S., Seiki T. Planning and design of underground space use. // Mem. Sch. Eng. Nagoya Univ. – 1997. – №1.
2. Maidl, B. Hardrock Tunnel Boring Machines / B. Maidl, L. Schmid, W. Ritz, M. Herrenknecht. Berlin: Ernst&Sohn, – 2008. – 343 p.
3. Val'ter A.V. Faktory, obuslavlivayushchie pogreshnosti poverhnostej vrashche-niya krupnogabaritnyh korpusov geohoda // Gornoe oborudovanie i elektromekhanika. –2016. – № 8 (126). – S. 19–25.
4. Aksenov V. V. Sintez tekhnicheskikh reshenij nozhevogo ispolnitel'nogo mo-dulya geohoda / Aksenov V. V., Sadovec V. YU. // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2006. – № 6-2 (58). – S. 33–37
5. Aksenov V. Impact of the number of blades of the geokhod cutting body on cutting forces / Aksenov V., Sadovets V., Rezanova E., Pashkov D. // E3S Web of Conferences. – 2017. – T. 15. – S. 03015.
6. Beglyakov V. YU. Obosnovanie parametrov poverhnosti vzaimodejstviya is-polnitel'nogo organa geohoda s porodoj zaboya : dis. kand. tekhn. nauk. – Yurga, – 2012. – 139 s.
7. Aksenov V. V. Sintez tekhnicheskikh reshenij novogo klassa gornoprophodche-skoj tekhniki / Aksenov V. V., Sadovec V. YU., Rezanova E. V. // Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal – Ekaterinburg, –2009, – № 8. – S. 56–63.
8. Efremenkova A. B. Razrabotka nauchnykh osnov sozdaniya sistem geohoda : dis. dok. tekhn. nauk – KuzGTU, Kemerovo, 2016
9. Beglyakov V. YU., Efremenkova A. B., Blashchuk M. YU., Sapozhkova A. V. Vybora racional'nykh geometricheskikh parametrov ispolnitel'nogo organa geohoda / Beglyakov V. YU., Efremenkova A. B., Blashchuk M. YU., Sapozhkova A. V. // V sbornike: Sovremennyye tekhnika i tekhnologii Trudy 14 Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. V 3 tomah. – 2008. –S. 234–236.
10. Ermakov A. A. Opredelenie usilij na golovnoj sekcii geohoda ot raboty barabannogo ispolnitel'nogo organa // V sbornike: Sbornik materialov VIII Vserossiyskoj, nauchno-prakticheskoy konferencii molodykh uchenykh s mezhdunarodnym ucha-stiem "ROSSIYA MOLODAYA". Otvetstvennyj redaktor O.V. Tajlakov. – KuzGTU, Kemerovo. – 2016. – S. 34.
11. Aksenov V. The influence of parameters on the generatrix of the helicoid form guide of geokhod bar working body / Aksenov V., Sadovets V., Pashkov D. // E3S Web of Conferences The Second International Innovative Mining Symposium. – 2017.
12. Blashchuk M. Yu. Capacity Calculation of Hydraulic Motors in Geokhod Systems for Justification of Energy-Power Block Parameters / Blashchuk M. Yu., Kasantsev A. A., Chernukhin R. V. //Applied Mechanics and Materials. – 2014. – № 682. – S. 418–425.
13. Anan'ev K. A. Sozdanie ispolnitel'nogo organa geohoda dlya razrusheniya porod srednej kreposti : dis. kand. tekhn. nauk. – Kemerovo, 2016. – 145 s.
14. Wighman T. Think deeps – go underground // ENR: News – Rec. – 1998. – №4.
15. Zelenin A. M. Mashiny dlya zemlyanykh rabot / Zelenin A. M., Balovnev V. I., Kerov I. P. // Uchebnoe

posobie dlya vuzov – M.: «Mashinostroenie», 1975. – 424 s.

16. Mashiny dlya zemlyanyh rabot / pod obshch. red. Volkova D. P. – M.: Mashino-stroenie, 1992. –187 s.

17. Vetrov YU. A., Baladinskij V. L. Mashiny dlya special'nyh zemlyanyh rabot. – Kiev: Izd-vo Kiev. un-ta, 1980. – 308 s.

18. Pashkov D. A. Analiz sushchestvuyushchih barovyh ispolnitel'nyh organov // V sbornike: IX

Vserossijskoj, 62 nauchno-prakticheskoy konferencii molodyh uchenyh s mezhdunarodnym uchastiem «Rossiya molodaya». S.G. Kostyuk (otv. redaktor). 2017. – S. 35011.

19. Zelenin A. N. Osnovy razrusheniya gruntov mekhanicheskimi sposobami. – M.: Mashinostroenie. 1968. –375 s.

20. Vetrov YU. A. Raschet sil rezaniya i kopaniya gruntov. – Kiev: Izd-vo Kiev. un-ta, 1985. –251 s.

Библиографическое описание статьи

Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Прейс Е.В., Пашков Д.А., Совершенствование математической модели определения силовых параметров ножевого исполнительного органа геогода // Горное оборудование и электромеханика — 2018. — № 5 (139). — С. 16-21.

Reference to article

Aksenov V.V., Sadovets V.Yu., Preis E.V., Pashkov D.A. Improvement of the mathematical model for determining the cutting load parameters of geokhod blade effector. Mining Equipment and Electromechanics, 2018, no. 5 (139), pp. 16-21.