

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

DOI: 10.26730/1999-4125-2018-2-166-172

УДК 622.23.05

ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ ТОЧЕК НОЖЕВОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ГЕОХОДА

BORDER CONDITIONS FOR IDENTIFICATION OF THE CHARACTERISTIC POINTS OF GEONOD KNIFE EXECUTIVE BODY

Аксенов Владимир Валерьевич^{3,4},

доктор техн. наук, e-mail: 55vva42@mail.ru

Vladimir V. Aksenov^{3,4}, Dr. Sc.in Engineering,

Садовец Владимир Юрьевич^{2,3},

кандидат техн. наук, доцент, e-mail: vsadovec@yandex.ru

Vladimir Yu. Sadovets^{2,3}, Candidate Sc.in Engineering,

Пашков Дмитрий Алексеевич¹,

аспирант, e-mail: pashkov.d.a@inbox.ru

Dmitry A. Pashkov¹, post-graduate student,

Резанова Елена Викторовна²,

старший преподаватель, e-mail: elen-rezanova@yandex.ru

Elena V. Rezanova², senior lecturer

¹Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН

650610, Россия, г. Кемерово, Ленинградский, 10.

¹Institute of Coal of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry, Siberian Branch of the RAS, 650610, 10 Leningradsky av, Kemerovo, Russia

²Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28.

²T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, 28 Vesennyaya St., Kemerovo, Russia

³Юргинский технологический институт филиал Томского политехнического университета 652052, Россия, г. Юрга, ул. Ленинградская, д. 26.

³Yurga Technological Institute Branch of Tomsk Polytechnic University, 652052 Leningradskay Str. 26, Yurga, Russia

⁴Научно-исследовательский центр ООО "Сибирское НПО" Россия, 650002, Кемерово, Сосновый бульвар, 1

⁴Scientific and research centre LLC "Siberian Research and Production Association", 650002, 1 Sosnoviy bul., Kemerovo, Russia

Аннотация: В статье обосновываются граничные условия определения характерных точек ножевого исполнительного органа геохода. Рассмотрена актуальность исследования. Дана информация о особенностях работы исполнительных органов геоходов. Описана методика расчета ножевого исполнительного органа геохода, в частности представлена полная сила блокированному резу одним лучом ножевого исполнительного органа геохода, которая представлена в виде суммы трех составляющих сил. Для постановки цели и задач исследования обоснован выбор составляющей силы $P_{св}$, возникающей на передней грани ножа при преодолении сопротивления грунта резанию, которая зависит от угла исполнительного органа и механических свойств грунта, а также пропорциональна геометрической площади прорези перед лучом ножевого исполнительного органа. Определены пределы интегрирования для определения составляющих сил резания $P_{0,св}$ и $R_{но,св}$ на одном луче исполнительного органа геохода. На основании проведенного исследования определены задачи для дальнейших исследований.

Abstract: The article substantiates the characteristic points of the knife executive body of the geohod. The urgency of the research is considered. Information is given on the peculiarities of the work of the executive bodies of the geohod. The method of calculation of the knife executive body of the geohod is described, in particular, the entire force of the blocked cutting by a single radial knife of the geohod is shown, and this force is also represented as the sum of three constituent forces. To establish the purpose and objectives of the study, it is justified to choose the force to overcome the soil resistance by the front face of the knife P_{CV} , the proportional cross-sectional area of the slot in front of the front edge of the knife and depending on the angle and strength of the soil. The article determines the limits of the integration of the projection of the component of the soil resistance force into the cutting, depending on the width of the cut, on the axis of rotation of the geohod $P_{0,CV}$ and on the plane perpendic-

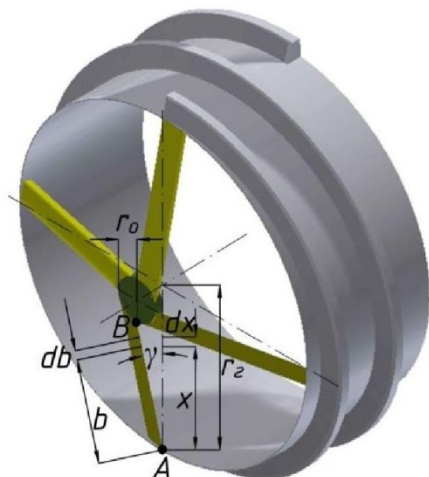


Рис. 1. Схема ножового исполнительного органа

Fig. 1. Scheme of knife-type executive body

the study, the tasks for further research have been determined.

Ключевые слова: горные машины, геоход, геоходная технология, исполнительный орган, нож.
Key words: mining machinery, geohod, geohod technology, executive body, knife.

Введение. На сегодняшний день новые технологии в области роботизации внедряются стремительными темпами. Однако менее освоенной является область создания устройств, которые могут образовывать полости под землей [1-3].

По этой причине появляются задачи, связанные с разработкой новых подходов, технологий, и машин, которые позволяют роботизировано выполнять все процессы для образования полости в подземном пространстве [4-6].

Использование геоходной технологии является одним из направлений, позволяющим подземному роботу образовывать полости под землей.

В настоящее время для разработки элементов геоходной технологии необходимо разработать конструктивные и технические решения исполнительных органов способных образовывать полости в подземном пространстве по породам крепостью 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.

Особенности исполнительного органа ге-

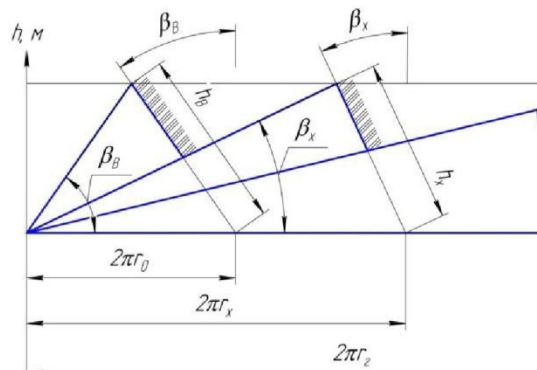


Рис. 2. Направление движения точек луча ножа, в зависимости от величины радиуса геохода

Fig. 2. The direction of movement of the points of the knife of the IO, depending on the location on the knife along the radius of the geohod

ular to the axis of rotation of the $R_{IO,CV}$. On the basis of

охода. Оригинальное перемещение геохода на забой предусматривает формирование сложной геометрии поверхности как забоя, так и исполнительного органа. Поверхность забоя, при проходке выработки геоходом, принимает вид нескольких геликоидных поверхностей с уступами.

Точка А (рисунок 1), находящаяся на периферии луча ножа, при определенном шаге внешнего движителя h_B внешнего движителя, проходя путь $2\pi R_z$ за один полный оборот, совершает сложное движение на забой под изменяющимся углом β_1 к плоскости расположенной перпендикулярно оси вращения головной секции геохода [11-14], причем

$$\beta_1 = \arctg \frac{h_B}{2\pi R_z}, \quad (1)$$

где R_z – радиус головной секции геохода.

Каждая точка ножа, размещенная на некотором расстоянии x (рисунок 1) от оси вращения головной секции геохода, перемещается по геликоидной траектории на забой выработки под углом [11-14]:

$$\beta_x = \arctg \frac{h_B}{2\pi x} \quad (2)$$

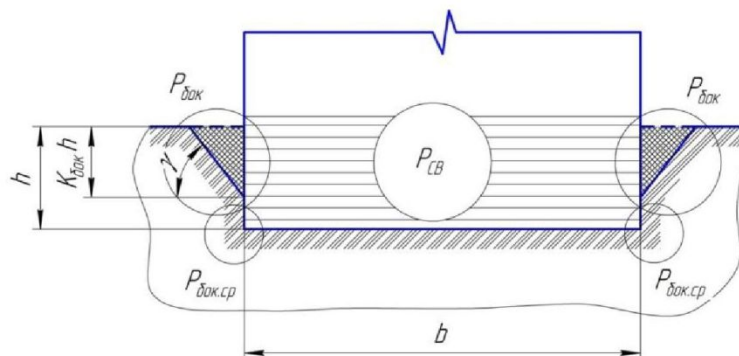


Рис. 3. Зоны действия составляющих силы резания острым ножом
Fig. 3. Areas of action of the cutting force components with a sharp knife

Любые точки ножа, расположенные вблизи оси вращения головной секции геохода подвигаются на забой выработки под углом большим, чем точки расположенные на краю луча ножа. Поэтому, при винтовом движении ножевого ИО геохода на забой точки ножа создают геликоидную (винтовую) поверхность. Таким образом, часть поверхности забоя в сегменте между смежными ножами после их прохода принимает вид геликоидной поверхности.

Любая точка ножа за один оборот геохода должна передвинуться на забой выработки на величину равную шагу винтовой лопасти h_v . каждые точки ножа, расположенные вблизи к оси вращения головной секции геохода, подвигаются на забой под углом большим (точка В под углом β_B), чем точки находящиеся на периферии луча ножа исполнительного органа (точка А под углом β_A) (рисунок 2).

Следовательно, величина формируемого уступа h зависит от шага движителя геохода, количества ножей [11-14]:

$$h = \frac{h_B}{n}, \quad (3)$$

где n – количество ножей на ИО.

Методика расчета ножевого исполнительного органа геохода. При разрушении забоя одним ножом исполнительного органа геохода, осуществляющему блокированный рез, можно представить тремя составляющими силами (рисунок 3) [15-18]:

- составляющей силы $P_{св}$, возникающей на передней грани ножа при преодолении сопротивления грунта резанию, которая зависит от угла исполнительного органа и механических свойств грунта, а также пропорциональна геометрической площади прорези перед лучом ножевого исполнительного органа [19];

- силы $P_{бок}$, возникающей в боковых расширениях разрушаемого уступа, для преодоления сопротивления грунта резанию, которая зависит от угла исполнительного органа и механических

свойств грунта, а также пропорциональна геометрической площади прорези перед лучом ножевого исполнительного органа [19];

- силы $P_{бок,ср}$, возникающей в боковых расширениях у дна разрушаемого уступа, которая зависит от угла исполнительного органа и механических свойств грунта, а также пропорциональна геометрической площади прорези перед лучом ножевого исполнительного органа [19].

Полная сила блокированного реза одним лучом острого ножа [20]:

$$P_{ср} = \varphi m_{св} b h + 2 m_{бок} h^2 + 2 m_{бок,ср} h, \quad (4)$$

где $\varphi m_{св} b h$ – силы преодоления лобовых сопротивлений ножу (на рисунке 3 обозначено $P_{св}$), Н;

$2 m_{бок} h^2$ – вся сила разрушения грунта в боковых расширениях прорези ($P_{бок}$ на рисунке 3), Н;

$2 m_{бок,ср} h$ – силы бокового среза ($P_{бок,ср}$ на рисунке 3), Н;

φ – коэффициент, учитывающий влияние угла резания;

$m_{св}$ – удельная сила резания для преодоления сопротивлений грунта передней гранью при угле резания 45° , Па;

b – ширина ножа, м;

h – глубина резания, м;

$m_{бок}$ – коэффициент, характеризующий силу разрушения грунта в боковых частях прорези, Па;

$m_{бок,ср}$ – коэффициент, характеризующий удельную силу среза одним из боковых ребер ножа, Н/м.

Разложим силу блокированного реза на две составляющие, одна из которых зависит от ширины среза (ножа) b , а другая нет. Первую составляющую обозначим $P_{св}$, вторую – $P_{бок}$. Тогда на основании выражения (4) [19,21]

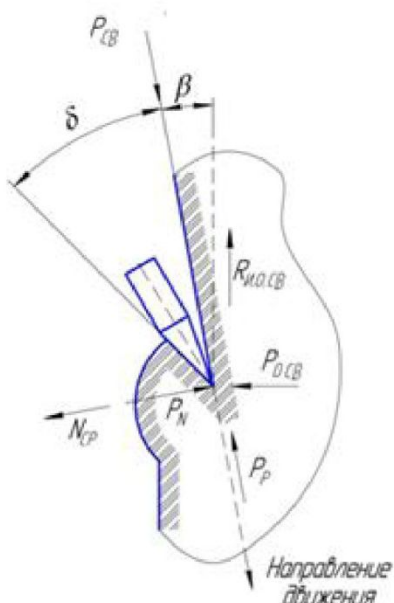


Рис. 4. Разложение силы резания грунта ножом исполнительного органа геохода

Fig. 4. Calculation scheme to determine the resistance force of the soil with the front face of the knife

$$P_{св} = \varphi m_{св} h b ; \quad (5)$$

$$P_{бок} = 2h(m_{бок} h + m_{боксп})$$

(6)

Составляющая усилия резания, зависящая от ширины среза, для элементарного участка ножа ИО (db на рисунке 1) определяется выражением [19,21]

$$dP_{св} = \varphi m_{св} h db \quad (7)$$

Дополнительная сила резания, которую необходимо прикладывать к элементарному участку db ножа с площадкой износа или затуплением [19,21]

$$dP_{пл.изн} = P_{изн} db ; \quad (8)$$

$$P_{изн} = p_o + P_{усл} \left(\frac{h}{h + h_{усл}} \right), \quad (9)$$

где p_o , $P_{усл}$, $h_{усл}$ - параметры, характеризующие сопротивление упругопластическому сжатию. С учетом

$$db = \frac{dx}{\cos \gamma}$$

получим [19,21]

$$dP_{св} = \frac{\varphi m_{св} h dx}{\cos \gamma} \quad (10)$$

$$dP_{св}^u = dP_{св} - dP_{пл.изн} ; \quad (11)$$

При затупленных ножах нормальная составляющая силы резания [19,21]

$$dN_{св}^u = ctg(\delta + \varphi_{TP}) \frac{\varphi m_{св} h}{\cos \gamma} dx - \frac{ctg(\delta_1 + \varphi_{TP})}{\cos \gamma} P_{изн} dx \quad (12)$$

На рисунке 4 показаны проекция всей силы резания грунта на ось вращения головной секции геохода (P_o) и на плоскость, которая перпендикулярна оси вращения головной секции геохода ($R_{ио}$).

Определим проекции составляющих сил резания, зависящих от ширины среза, на ось вращения головной секции и плоскость, перпендикулярную этой оси геохода, а также силовой момент сопротивлению реза от этой составляющей проекции силы для ножей исполнительного органа геохода, имеющих площадку износа [20,21]

$$dP_{o,св} = \sin \beta_x dP_{св} - \cos \beta_x dN_{св} \quad (13)$$

$$dR_{ио,св} = \cos \beta_x dP_{св} + \sin \beta_x dN_{св} \quad (14)$$

После подстановки и решения интегралов окончательно будем иметь [19,21]

$$P_{o,св} = \frac{\varphi m_{св} h^2 + h_e n P_{изн}}{2\pi \cos \gamma} \left(\ln \left| \frac{\beta_2}{2} \right| - \ln \left| \frac{\beta_1}{2} \right| \right) - \frac{h_e}{2\pi} \left(\varphi m_{св} \frac{h_e}{n} \frac{ctg(\delta + \varphi_{TP})}{\cos \gamma} - \frac{ctg(\delta_1 + \varphi_{TP})}{\cos \gamma} P_{изн} \right) \frac{\sin \beta_2 - \sin \beta_1}{\sin \beta_1 \sin \beta_2} \quad (15)$$

$$R_{ио,св} = \frac{\varphi m_{св} h^2 + h_e n P_{изн}}{2\pi \cos \gamma} \cdot \frac{\sin \beta_2 - \sin \beta_1}{\sin \beta_1 \sin \beta_2} + \frac{h_e}{2\pi} \left(\varphi m_{св} \frac{h_e}{n} \frac{ctg(\delta + \varphi_{TP})}{\cos \gamma} - \frac{ctg(\delta_1 + \varphi_{TP})}{\cos \gamma} P_{изн} \right) \cdot \left(\ln \left| \frac{\beta_2}{2} \right| - \ln \left| \frac{\beta_1}{2} \right| \right); \quad (16)$$

Определим проекции составляющих сил резания, которые не зависят от ширины среза, на ось вращения головной секции геохода и плоскость, расположенную перпендикулярно этой оси, а также силовой момент сопротивлению реза от этой составляющей [19,21]

$$P_{o,бок} = \frac{h_b}{n} \left(m_{бок} \frac{h_b}{n} + m_{боксп} \right) \left[-\frac{\cos(\delta + \varphi_{np} + \beta_1) + \cos(\delta + \varphi_{np} + \beta_2)}{\sin(\delta + \varphi_{np})} \right] \quad (17)$$

$$R_{ио,бок} = \frac{h_b}{n} \left(m_{бок} \frac{h_b}{n} + m_{боксп} \right) \left[\frac{\sin(\delta + \varphi_{np} + \beta_1) + \sin(\delta + \varphi_{np} + \beta_2)}{\sin(\delta + \varphi_{np})} \right] \quad (18)$$

Методика исследования.

Для обоснования граничных условий определения характерных точек ножевого исполнительного органа геохода, воспользуемся силой, которая зависит от ширины среза, т.е. силой возникающей на передней грани луча ножа исполнительного органа геохода для преодоления сопротивления грунта резанию $P_{св}$.

На рисунке 4 показаны проекции составляющих сил сопротивления грунта резанию, которые зависят от ширины среза, на ось вращения головной секции геохода ($P_{o,св}$) и на плоскость, которая перпендикулярна этой оси ($R_{ио,св}$). На основе этих проекций можно выделить четыре различных условия для определения характерных точек:

1) При каком значении x (радиуса ножевого исполнительного органа), проекция силы резания, которая зависит от ширины среза, на ось вращения головной секции геохода ($P_{o,св}$) в изменяющихся пределах от 0 до x , будет равна проекции силы реза,

которая зависит от ширины реза, на плоскость, которая перпендикулярна оси вращения головной секции геолода ($R_{HO.CB}$) в изменяющихся пределах от x до R_r , т.е.

$$\int_0^x P_{c.cb} dx = \int_x^{R_r} R_{HO.CB} dx; \quad (19)$$

2) При каком значении x (радиуса ножевого исполнительного органа), проекция силы резания, которая зависит от ширины реза, на ось вращения головной секции геолода ($P_{O.CB}$) в изменяющихся пределах от 0 до x , будет равна проекции силы резания, которая зависит от ширины реза, на ось вращения головной секции геолода ($P_{O.CB}$) в изменяющихся пределах от x до R_r , т.е.

$$\int_0^x P_{c.cb} dx = \int_x^{R_r} P_{c.cb} dx; \quad (20)$$

3) При каком значении x (радиуса ножевого исполнительного органа), проекция силы резания, которая зависит от ширины реза, на плоскость, расположенную перпендикулярно оси вращения головной секции геолода ($R_{HO.CB}$) в изменяющихся пределах от 0 до x , будет равна проекции силы резания, которая зависит от ширины реза, на плоскость, расположенную перпендикулярно оси вращения головной секции геолода ($R_{HO.CB}$) в изменяющихся пределах от x до R_r , т.е.

$$\int_0^x R_{HO.CB} dx = \int_x^{R_r} R_{HO.CB} dx; \quad (21)$$

4) При каком значении x (радиуса ножевого исполнительного органа), равнодействующая проекции силы резания, которая зависит от ширины реза, на ось вращения головной секции геолода ($P_{O.CB}$) и проекции силы резания, которая зависит от ширины реза, на плоскость, расположенную перпендикулярно оси вращения головной секции геолода ($R_{HO.CB}$) в изменяющихся пределах от 0 до x , будет равна равнодействующей проекции силы резания, которая зависит от ширины реза, на ось вращения головной секции геолода ($P_{O.CB}$) и проекции силы резания, которая зависит от ширины реза, на плоскость, расположенную перпендикулярно оси вращения головной секции геолода ($R_{HO.CB}$) в изменяющихся пределах от x до R_r , т.е.

$$\int_0^x R_{CB} dx = \int_x^{R_r} R_{CB} dx; \quad (22)$$

Результаты.

С учетом указанных пределов интегрирования из условий (19-22) и выражений (1) и (2), выражения (15) и (16) примут вид

Проекция силы резания, которая зависит от ширины реза, на ось вращения головной секции геолода ($P_{O.CB}$) в изменяющихся пределах от 0 до x

$$P_{O.CB} = \frac{\varphi m_{ce} h_s^2 + h_s n P_{изн}}{2\pi \cos \gamma} \cdot \left(\ln \frac{1}{\left| \frac{\beta_x}{2} \right|} \right) - \frac{h_s}{2\pi} \left(\varphi m_{ce} \frac{h_s}{n} \frac{ctg(\delta + \varphi_{TP})}{\cos \gamma} - \frac{ctg(\delta_1 + \varphi_{TP})}{\cos \gamma} P_{изн} \right) \frac{1 - \sin \beta_x}{\sin \beta_x} \quad (23)$$

Проекция силы резания, которая зависит от ширины реза, на ось вращения головной секции геолода ($P_{O.CB}$) в изменяющихся пределах от x до R_r

$$P_{O.CB} = \frac{\varphi m_{ce} h_s^2 + h_s n P_{изн}}{2\pi \cos \gamma} \cdot \left(\ln \frac{\left| \frac{\beta_x}{2} \right|}{\left| \frac{\beta_1}{2} \right|} \right) - \frac{h_s}{2\pi} \left(\varphi m_{ce} \frac{h_s}{n} \frac{ctg(\delta + \varphi_{TP})}{\cos \gamma} - \frac{ctg(\delta_1 + \varphi_{TP})}{\cos \gamma} P_{изн} \right) \frac{\sin \beta_2 - \sin \beta_x}{\sin \beta_x \sin \beta_2} \quad (24)$$

Проекция силы резания, которая зависит от ширины реза, на плоскость, расположенную перпендикулярно оси вращения головной секции геолода ($R_{HO.CB}$) в изменяющихся пределах от 0 до x

$$R_{HO.CB} = \frac{\varphi m_{ce} h_s^2 + h_s n P_{изн}}{2\pi \cos \gamma} \cdot \frac{1 - \sin \beta_x}{\sin \beta_x} + \frac{h_s}{2\pi} \left(\varphi m_{ce} \frac{h_s}{n} \frac{ctg(\delta + \varphi_{TP})}{\cos \gamma} - \frac{ctg(\delta_1 + \varphi_{TP})}{\cos \gamma} P_{изн} \right) \cdot \left(\ln \frac{1}{\left| \frac{\beta_x}{2} \right|} \right) \quad (25)$$

Проекция силы резания, которая зависит от ширины реза, на плоскость, расположенную перпендикулярно оси вращения головной секции геолода ($R_{HO.CB}$) в изменяющихся пределах от x до R_r

$$R_{HO.CB} = \frac{\varphi m_{ce} h_s^2 + h_s n P_{изн}}{2\pi \cos \gamma} \cdot \frac{\sin \beta_x - \sin \beta_1}{\sin \beta_1 \sin \beta_x} + \frac{h_s}{2\pi} \left(\varphi m_{ce} \frac{h_s}{n} \frac{ctg(\delta + \varphi_{TP})}{\cos \gamma} - \frac{ctg(\delta_1 + \varphi_{TP})}{\cos \gamma} P_{изн} \right) \cdot \left(\ln \frac{\left| \frac{\beta_x}{2} \right|}{\left| \frac{\beta_1}{2} \right|} \right) \quad (26)$$

Выводы.

В работе выделены граничные условия определения характерных точек ножевого исполнительного органа геолода. На основе условий получены выражения для определения значения характерных точек изгиба.

Для проведения дальнейших исследований необходимо:

- определить значения характерных точек ножевого исполнительного органа геолода;
- определить влияние свойств геосреды на расположение характерных точек;
- определить влияние параметров геолода 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. Wighman T. Think deeps – go underground // ENR: News – Rec. – 1998. - №4.

4. Вальтер А.В. Факторы, обуславливающие погрешности поверхностей вращения крупногабаритных корпусов геохода/А.В. Вальтер//Горное оборудование и электромеханика. -2016. -№ 8 (126). -С. 19-25.
5. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Садовец В.Ю., Резанова Е.В. Формирование нового подхода к синтезу технических и конструктивных решений геочодов. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. Т. 3. № 12. С. 194-210.
6. Бегляков В.Ю. Обоснование параметров поверхности взаимодействия исполнительного органа геохода с породой забоя. Дис. Канд. Техн. Наук. - Юрга, 2012. -139 с.
7. Аксёнов В.В., Садовец В.Ю., Бегляков В.Ю. Обоснование необходимости создания исполнительного органа геохода для разрушения пород средней крепости. В сборнике: ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭКОНОМИКА В МАШИНОСТРОЕНИИ Труды VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2008. С. 429-431.
8. Ефременков А.Б. Разработка научных основ создания систем геохода. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева. Кемерово, 2016
9. Бегляков В.Ю., Ефременков А.Б., Блащук М.Ю., Сапожкова А.В. Выбор рациональных геометрических параметров исполнительного органа геохода // В сборнике: Современная техника и технологии Труды 14 Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых. В 3 томах. 2008. С. 234-236.
10. Ермаков А.А. Определение усилий на головной секции геохода от работы барабанного исполнительного органа//В сборнике: Сборник материалов VIII Всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с международным участием "РОССИЯ МОЛОДАЯ". Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева; Ответственный редактор О.В. Тайлаков. 2016. С. 34.
11. Бегляков В.Ю. Обоснование параметров поверхности взаимодействия исполнительного органа геохода с породой забоя. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кузбасский государственный технический университет. Юрга, 2012
12. Aksenov V., Sadovets V., Rezanova E., Pashkov D. Impact of the number of blades of the geokhod cutting body on cutting forces // E3S Web of Conferences. 2017. Т. 15. С. 03015.
13. Ананьев К.А. Создание исполнительного органа геохода для разрушения пород средней крепости. Дис. Канд. Техн. Наук.-Кемерово, 2016.-145 с.
14. Blashchuk M.Yu., Kasantsev A.A., Chernukhin R.V. Capacity Calculation of Hydraulic Motors in Geokhod Systems for Justification of Energy-Power Block Parameters//Applied Mechanics and Materials. -2014. -№ 682. -С. 418-425.
15. Зеленин А.М., Баловнев В.И., Керов И.П. Машины для земляных работ // 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. Садовец В.Ю., Аксенов В.В. Ножевые исполнительные органы геочодов: монография / В.Ю. Садовец, В.В. Аксенов // Издательство: LAPLAMBERT Academic Publishing GmbH&Co. KG Heinrich-Böcking-Str. 6-8, 66121 Saarbrücken, Germany. 2011. -141 с.
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.

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. Wighman T. Think deeps – go underground // ENR: News – Rec. – 1998. - №4.
4. Val'ter A.V. Faktory, obuslavlivayushchiye pogreshnosti poverkhnostey vrashche-niya krupnogabaritnykh korpusov geokhoda / A.V. Val'ter // Gornoye oborudovaniye i elek-tromekhanika. -2016. №№ 8 (126). –pp. 19-25.
5. Aksenov V.V., Efremenkov A.B., Sadovets V.Ju., Rezanova E.V. Formirovanie novogo podhoda k sintezu tehnikeskikh i konstruktivnykh reshenij geochodov. Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal). 2010. Т. 3. # 12. - pp. 194-210.

6. Beglyakov V.YU. Obosnovaniye parametrov poverkhnosti vzaimodeystviya ispolnitel'nogo organa geokhoda s porodoy zaboya. Dis. Kand. Tekhn. Nauk. - Yurga, 2012. - 139 s.
7. Aksjonov V.V., Sadovets V.Ju., Begljakov V.Ju. Obosnovanie neobhodimosti so-zdaniya ispolnitel'nogo organa geohoda dlja razrusheniya porod srednej kreposti. V sbornike: INNOVACIONNYYE TEHNOLOGII I JEKONOMIKA V MASHINOSTROENII Trudy VI Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. 2008. pp. 429-431.
8. Efremenkova A.B. Razrabotka nauchnykh osnov sozdaniya sistem geohoda. Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk / Kuzbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet im. T.F. Gorbacheva. Kemerovo, 2016
9. Begljakov V.Ju., Efremenkova A.B., Blashchuk M.Ju., Sapozhkova A.V. Vybora racional'nykh geometricheskikh parametrov ispolnitel'nogo organa geohoda // V sbornike: Sovremennyye tekhnika i tekhnologii Trudy 14 Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodykh. V 3 tomah. 2008. pp. 234-236.
10. Ermakov A.A. Opredelenie usiliy na golovnoy sektsii geokhoda ot raboty barabannogo ispolnitel'nogo organa // V sbornike: Sbornik materialov VIII Vserossiyskoj, nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem "ROSSIYA MOLODAYA". Kuzbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet im. T.F. Gorbacheva; Otvetstvennyy redaktor O.V. Taylakov. 2016. S. 34.
11. Begljakov V.Ju. Obosnovanie parametrov poverkhnosti vzaimodeystviya ispolnitel'nogo organa geohoda s porodoy zaboya. Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Kuzbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet. Yurga, 2012
12. Aksekov V., Sadovets V., Rezanova E., Pashkov D. Impact of the number of blades of the geokhod cutting body on cutting forces // E3S Web of Conferences. 2017. T. 15. C. 03015.
13. Anan'ev K.A. Sozdanie ispolnitel'nogo organa geohoda dlja razrusheniya porod srednej kreposti. Dis. Kand. Tehn. Nauk. - Kemerovo, 2016. - p. 145.
14. Blashchuk M.Yu., Kasantsev A.A., Chernukhin R.V. Capacity Calculation of Hydraulic Motors in Geokhod Systems for Justification of Energy-Power Block Parameters // Applied Mechanics and Materials. - 2014. - № 682. - pp. 418-425.
15. Zelenin A.M., Balovnev V.I., Kerov I.P. Mashiny dlya zemlyanykh rabot // Uchebnoye posobiye dlya vuzov - M.: «Mashinostroyeniye», 1975. p. 424.
16. Mashiny dlya zemlyanykh rabot / pod obshch. red. Volkova D.P. - M.: Mashino-stroyeniye, 1992. p. 187.
17. Vetrov YU.A., Baladinskiy V.L. Mashiny dlya spetsial'nykh zemlyanykh rabot. - Kiyev: Izd-vo Kiyev. un-ta, 1980. p. 308.
18. Sadovets V.YU., Aksekov V.V. Nozhevyey ispolnitel'nyye organy geokhodov: mono-grafiya / V.YU. Sadovets, V.V. Aksekov // Izdatel'stvo: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG Heinrich-Böcking-Str. 6-8, 66121 Saarbrücken, Germaniya. 2011. - p. 141.
19. Zelenin A.N. Osnovy razrusheniya gruntov mekhanicheskimi sposobami. - M.: Mashinostroyeniye. 1968. 375 p.
20. Vetrov YU.A. Raschet sil rezaniya i kopaniya gruntov. - Kiyev: Izd-vo Kiyev. Un-ta, 1985. p. 251.

Поступило в редакцию 01.05.2018

Received 01.05.2018