

инструмента с узлами крепления по всем техническим решениям обеспечивают гарантированный запас прочности для принятых марок сталей (35ХГСА, Ст. 45).

Рекомендована комбинированная схема набора дискового инструмента на корпусе раздаточного редуктора между аксиальными коронками исполнительного органа проходческого комбайна с размещением конических дисков в центральной зоне, а биконических дисков в остальных зонах по ширине межкорончатого пространства.

Литература.

1. The influence of relative distance between ledges on the stress-strain state of the rock at a face / V.V. Aksenov, A.B. Efremkov, V.Yu. Beglyakov // Applied Mechanics and Materials. - 2013 - Vol. 379. - p. 16-19.
2. Justification of creation of an external propulsor for multipurpose shield-type heading machine – GEO-WALKER / V.V. Aksenov, A.A. Khoreshok, V.Yu. Beglyakov // Applied Mechanics and Materials. - 2013 - Vol. 379. - p. 20-23.
3. Улучшение разрушающе-погрузочной способности проходческого комбайна избирательного действия / Хорешок А. А., Маметьев Л. Е., Борисов А. Ю. // Научно-технический журнал «Горный инженер». – 2013. – № 1. – С. 102–110.
4. Перспективы создания проходческих комбайнов нового технического уровня
5. <http://library.stroit.ru/articles/combain2/index.html>
6. Пат. 136086 РФ : МПК Е 21 С 25/18, Е 21 С 27/24 (2006.01). Исполнительный орган проходческого комбайна избирательного действия / Маметьев Л.Е, Хорешок А.А., Борисов А.Ю., Цехин А.М. ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессиона. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2013135402/03 ; заявл. 26.07.2013 ; опубл. 27.12.2013, Бюл. № 36. – 3 с.
7. Устройства для улучшения процессов зарубки исполнительных органов проходческих комбайнов избирательного действия / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – № 4. – С. 11–16.
8. Адаптация узлов крепления дискового инструмента исполнительных органов проходческих комбайнов к монтажу и демонтажу / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – № 7. – С. 3–8.
9. Совершенствование конструкций узлов крепления дискового инструмента на коронках проходческих комбайнов / Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, А.Ю. Борисов, А.В. Воробьев // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив. – 2014. – № 1. – С. 3–5.
10. Разработка реверсивных коронок для проходческих комбайнов с дисковым инструментом на сменных трехгранных призмах / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.Ю. Борисов, С.Г. Мухортиков, А.В. Воробьев // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. – № 9. – С. 40–44.
11. Пат. 146845 РФ : МПК Е 21 С 25/18, Е 21 С 27/24 (2006.01). Дисковый инструмент проходческого комбайна / Маметьев Л.Е, Хорешок А.А., Борисов А.Ю., Воробьев А.В. ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессиона. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2014109201/03 ; заявл. 11.03.2014 ; опубл. 20.10.2014, Бюл. № 29. – 2 с.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НОЖЕВОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ГЕОХОДА С ГЕОСРЕДОЙ

*В.Ю. Садовец******, к.т.н, доц., *В.В. Аксенов******, д.т.н., *В.Ю. Бегляков**, к.т.н, доц.

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

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

***Институт угля СО РАН, г. Кемерово,*

****Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, 652055, Кемеровская область, г. Юрга, Ул. Ленинградская, 26. р.т. 8-(384-51)-6-05-37.*

E-mail: vsadovec@yandex.ru; begljakov@rambler.ru

Проведение горной выработки рядом авторов [1,2] рассматривается как процесс движения твердого тела в твердой среде. Данный подход лежит в основе геовинчестерной технологии проведения горных выработок, базовым функциональным элементом которой является геоход.

Для проходки подземных выработок на малых глубинах в неустойчивых породах с применением геохода для разрушения необходимо использовать ножевой исполнительный орган. Отсутствие

методики расчета ножевого исполнительного органа различного конструктивного решения является сдерживающим фактором при создании геохонд.

Своеобразный характер перемещения геохонд на забой обуславливает формирование сложной формы поверхности не только самого забоя, но и исполнительного органа (ИО) [3]. Поверхность забоя, при разрушении его ИО геохонд, имеет вид нескольких геликоидных поверхностей с уступами [4].

Любая точка ножа расположенная на расстоянии x (рисунок 1) от оси вращения геохонд, перемещается на забой под углом:

$$\beta_x = \arctg \frac{h_B}{2\pi x} \quad (1)$$

Точки ножа, находящиеся ближе к оси вращения геохонд перемещаются на забой под большим углом, чем точки находящиеся на периферии ножа (рисунок 2, а). Таким образом, при винтовом перемещении ножевого ИО геохонд на забой точки радиального ножа образуют геликоидную (винтовую) поверхность. Следовательно, участок поверхности забоя в секторе между смежными радиальными ножами после их прохода принимает вид винтовой поверхности.

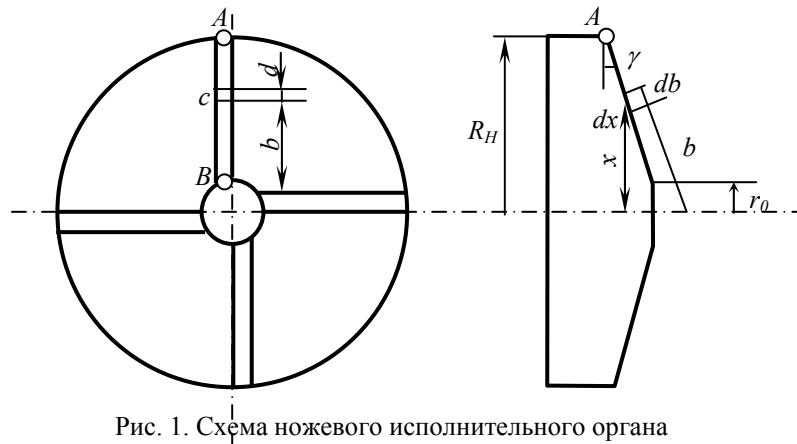


Рис. 1. Схема ножевого исполнительного органа

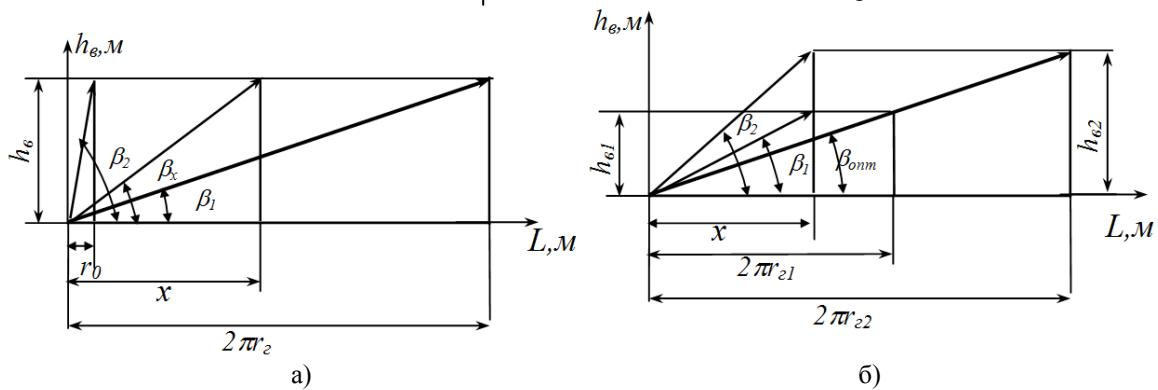


Рис. 2. Направление движения точек ножа ИО геохонд в зависимости:
 a – от расположения на радиальном ноже; b – от типоразмера геохонд

Кроме того, если при каком-то оптимальном угле наклона винтовой лопасти внешнего движителя (β_{omn}) увеличить радиус головной секции геохонд, то любая точка, находящаяся на расстоянии x от центра геохонд, должна будет проходить за один оборот расстояние h_{e2} отличное от h_{e1} , при этом угол наклона β_2 будет отличен от β_1 (рисунок 2, б). Следовательно, геометрические параметры геликоида, по форме которого выполняется профиль радиального ножа ИО геохонд зависят от параметров внешнего движителя (r_2 – радиус головной секции геохонд, h_e – шаг винтовой лопасти, β – угол наклона винтовой лопасти.) и являются индивидуальными для каждого типоразмера геохонд.

Высота формируемого уступа h зависит от шага винтовой лопасти и количества радиальных ножей, установленных на ИО геохонд:

$$h = \frac{h_B}{n} \quad (2)$$

где n – количество ножей на ИО.

На основе сформированных фрагментов структурного портрета [4,5], основанных на интеграционном подходе, были разработаны конструктивные решения ножевого ИО геохода [5].

Поскольку геоход – аппарат, движущийся в подземном пространстве с использованием геосреды, то его ИО будет разрушать (резать) как сыпучие, так и плотные породы. Тогда рациональное число ножей ИО геохода должно выбираться из интервала [6]:

$$n = \frac{\operatorname{tg} \beta \cdot 2\pi r_2}{0,1 \div 0,2} \quad (3)$$

Расположение радиальных ножей относительно оси агрегата влияет на силы резания возникающие в процессе разрушения массива горных пород. При резании одним радиальным ножом ИО геохода всю силу заблокированного резания можно представить в виде суммы трех составляющих сил (рисунок 3) [7]:

1 Силы для преодоления сопротивления грунта передней гранью ножа $P_{св}$, пропорциональной площади сечения прорези перед передней гранью ножа и зависящей от угла и крепости грунта;

2 Силы для преодоления сопротивлений грунта разрушению в боковых расширениях прорези $P_{бок}$, пропорциональной площади этих частей прорези, зависящей от крепости грунта и не зависящей от угла резания и ширины среза;

3 Силы для преодоления сопротивлений грунта срезу боковыми ребрами ножа у дна прорези $P_{бок, ср}$, пропорциональной толщине среза, зависящей от крепости грунта и не зависящей от ширины среза и угла резания.

Вся сила заблокированного резания простым острым ножом (рисунок 4) [6]:

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

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

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

$2m_{бок, ср} h$ - 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.

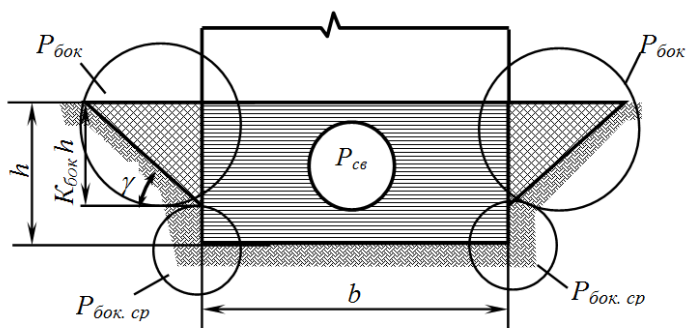


Рис. 3. Схема действия сил при заблокированном резе простым ножом

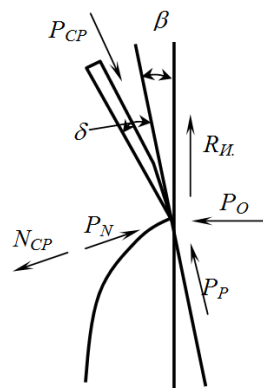


Рис. 4. Расчетная схема к определению полной силы сопротивления грунта резанию ножевым исполнительным органом

Вывод зависимостей для определения усилий резания ножевым ИО геохода представлен в работе [8]
Основные зависимости для определения сил резания представлены ниже.

$$P_{o.cв} = \frac{\varphi m_{cв} h_6^2 + h_6 n P_{узн}}{2\pi \cos \gamma} \cdot \left(\ln \frac{\left| \frac{\beta_2}{2} \right|}{\left| \frac{\beta_1}{2} \right|} \right) - ; \quad (5)$$

$$- \frac{h_6}{2\pi} \left(\varphi m_{cв} \frac{h_6}{n} \frac{\operatorname{ctg}(\delta + \varphi_{TP})}{\cos \gamma} - \frac{\operatorname{ctg}(\delta_1 + \varphi_{TP})}{\cos \gamma} P_{узн} \right) \frac{\sin \beta_2 - \sin \beta_1}{\sin \beta_1 \sin \beta_2}$$

$$R_{u.o.cв} = \frac{\varphi m_{cв} h_6^2 + h_6 n P_{узн}}{2\pi \cos \gamma} \cdot \frac{\sin \beta_2 - \sin \beta_1}{\sin \beta_1 \sin \beta_2} + ; \quad (6)$$

$$+ \frac{h_6}{2\pi} \left(\varphi m_{cв} \frac{h_6}{n} \frac{\operatorname{ctg}(\delta + \varphi_{TP})}{\cos \gamma} - \frac{\operatorname{ctg}(\delta_1 + \varphi_{TP})}{\cos \gamma} P_{узн} \right) \cdot \left(\ln \frac{\left| \frac{\beta_2}{2} \right|}{\left| \frac{\beta_1}{2} \right|} \right)$$

$$M_{u.o.cв} = \frac{\varphi m_{cв} h_6^3 + h_6^2 n P_{узн}}{8\pi^2 n \cos \gamma} \left(\ln \frac{\left| \frac{\beta_1}{2} \right|}{\left| \frac{\beta_2}{2} \right|} + \frac{\cos \beta_2 \sin^2 \beta_1 - \cos \beta_1 \sin^2 \beta_2}{\sin^2 \beta_1 \sin^2 \beta_2} \right) + . \quad (7)$$

Проекция составляющей силы сопротивления грунта резанию, независимой от ширины среза, на ось вращения геохода и плоскость, перпендикулярную оси вращения, а также момент сопротивления резанию от этой составляющей

$$P_{o.бок} = (\sin \beta_1 + \sin \beta_2) \frac{P_{бок}}{2} - (\cos \beta_1 + \cos \beta_2) \frac{N_{бок}}{2} ; \quad (8)$$

$$R_{u.o.бок} = (\cos \beta_1 + \cos \beta_2) \frac{P_{бок}}{2} + (\sin \beta_1 + \sin \beta_2) \frac{N_{бок}}{2} ; \quad (9)$$

$$M_{u.o.бок} = (r_2 \cos \beta_1 + r_o \cos \beta_2) \frac{P_{бок}}{2} + (r_2 \sin \beta_1 + r_o \sin \beta_2) \frac{N_{бок}}{2} . \quad (10)$$

Подставив в полученные формулы выражения (5), (6) и (7) и после некоторых преобразований получим

$$P_{o.бок} = \frac{h_B}{n} \left(m_{бок} \frac{h_B}{n} + m_{бок.ср} \right) \left[- \frac{\cos(\delta + \varphi_{mp} + \beta_1) + \cos(\delta + \varphi_{mp} + \beta_2)}{\sin(\delta + \varphi_{mp})} \right] ; \quad (11)$$

$$R_{u.o.бок} = \frac{h_B}{n} \left(m_{бок} \frac{h_B}{n} + m_{бок.ср} \right) \left[\frac{\sin(\delta + \varphi_{mp} + \beta_1) + \sin(\delta + \varphi_{mp} + \beta_2)}{\sin(\delta + \varphi_{mp})} \right] ; \quad (12)$$

$$M_{u.o.бок} = \frac{h_B}{n} \left(m_{бок} \frac{h_B}{n} + m_{бок.ср} \right) \left[\frac{r_2 \sin(\delta + \varphi_{mp} + \beta_1) + r_o \sin(\delta + \varphi_{mp} + \beta_2)}{\sin(\delta + \varphi_{mp})} \right] \quad (13)$$

Для ножевого ИО геохода полная проекция силы сопротивления грунта резанию на ось вращения геохода и плоскость, перпендикулярную оси вращения, а также полный момент сопротивления резанию, соответственно, равны

$$P_o = n(P_{o.cв} + P_{бок}) ; \quad (14)$$

$$R_{u.o} = n(R_{u.o.cв} + R_{u.o.бок}) ; \quad (15)$$

$$M_{u.o} = n(M_{u.o.cв} + M_{u.o.бок}) . \quad (16)$$

Режущая часть ножевого ИО геолода с зубьями имеет более сложную форму: в нем могут сочетаться простые ножи (зубья), установленные на радиальной штанге. Поэтому для определения сил резания ножевой ИО геолода с зубьями будем рассматривать как сложный нож, состоящий из простых ножей, взаимодействующих между собой.

Взаимодействие простых ножей, входящих в состав сложного ножа, учитывается по величинам совмещения зон разрушения грунта каждым составляющим ножом в отдельности.

Величину силы трения и момента сопротивления трению определяют в зависимости от величины горного давления [9]:

$$T_{ИО} = \frac{\pi f_{ТР} \lambda \gamma_{пор}}{f} \left(1 + 2 \operatorname{tg} \left(45^{\circ} - \frac{\rho}{2} \right) \right) r_2^3; \quad (17)$$

$$M_{Т.ИО} = \frac{2 \pi f_{ТР} \lambda \gamma_{пор}}{3f} \left(1 + 2 \operatorname{tg} \left(45^{\circ} - \frac{\rho}{2} \right) \right) r_2^4, \quad (18)$$

где λ - коэффициент бокового давления; $\gamma_{пор}$ - удельный вес пород, Нм^3 ; f - коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова; ρ - угол внутреннего трения породы, град.

Выводы.

Получена математическая модель взаимодействия ножевых исполнительных органов геолодов с геосредой, базирующаяся на разработанной методике расчета их силовых параметров.

Разработана методика расчета силовых параметров ножевого ИО геолода базирующаяся на аналитически полученных выражениях. Данная методика позволяет определять:

- силы резания на одном радиальном ноже, как без зубьев, так и оснащенного зубьями исполнительного органа геолода;
- силы резания на исполнительном модуле геолода ножевого типа, имеющего различные конструктивные решения.

Геометрические параметры геликоида (l - длина радиального ножа, β_i - угол под которым расположена каждая i -тая точка ножа), по форме которого выполняется профиль радиального ножа ИО геолода, зависят от параметров внешнего движителя (r_2 - радиус головной секции геолода, h_g - шаг винтовой лопасти, β - угол наклона винтовой лопасти.) и являются индивидуальными для каждого типоразмера.

Литература.

1. Винтоповоротные проходческие агрегаты / А.Ф. Эллер, В.Ф. Горбунов, В.В. Аксенов. - Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1992. - 192 с.
2. Аксенов В.В. Геовинчестерная технология проведения горных выработок. - Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, 2004. - 264 с., ил.
3. Горбунов В.Ф., Аксенов В.В., Садовец В.Ю. Экспертная оценка влияния особенностей нового класса горно-проходческой техники на методику расчета его параметров // Вестник КузГТУ, № 6.1 - Кемерово, 2004, с. 41-43.
4. Аксенов В.В., Садовец В.Ю. Синтез технических решений исполнительных органов геолодов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2006. № 6. С. 64.
5. Аксенов В.В., Садовец В.Ю. Синтез технических решений ножевого исполнительного органа геолода // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2006. № 6. С. 33-37.
6. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Бегляков В.Ю. Синтез конструктивных решений исполнительных органов геолодов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) = Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2010. Т. 3. № 12. С. 49-54.
7. Садовец В.Ю. Обоснование конструктивных и силовых параметров ножевых исполнительных органов геолодов // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кемерово, 2007
8. Ветров Ю.А. Расчет сил резания и копания грунтов. - Киев: Изд-во Киев. Ун-та, 1985. 251 с.
9. Садовец В.Ю. Обоснование конструктивных и силовых параметров ножевых исполнительных органов геолодов // автореф. дисер. к.т.н. Кузбасс. гос. техн. ун-т. - Кемерово, 2007. с. 17