

Научная статья

УДК 629.232

DOI: 10.26730/1816-4528-2026-2-85-94

Хорешок Алексей Алексеевич^{1,2}, Прейс Елена Валерьевна², Пашков Дмитрий Алексеевич^{1,2*}¹ Институт угля Федерального Исследовательского Центра угля и углехимии СО РАН² Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

* для корреспонденции: pashkov.d.a@inbox.ru

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ГЕОХОДА ГЕЛИКОИДНОЙ ФОРМЫ**Информация о статье**

Поступила:

10 января 2026 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 марта 2026 г.

Принята к печати:

15 апреля 2026 г.

Опубликована:

04 июня 2026 г.

Ключевые слова:

горные машины, геолод, нож исполнительного органа, геликоидность

Аннотация.

Статья направлена на обоснование необходимости применения исполнительных органов геолода геликоидной формы. Отмечена актуальность исследования, заключающаяся в обеспечении наименьших значений сил резания и подачи для более энергоэффективного процесса разрушения. Приведены особенности работы исполнительного органа геолода. На примере ножевого исполнительного органа геолода с различными формами режущей кромки проведено исследование влияния геликоидности исполнительного органа геолода на его силовые параметры. Представлена математическая модель взаимодействия ножевого исполнительного органа геолода с различными формами режущей кромки с породой забоя. Приняты исходные данные для исследования. По результатам работы установлено, что геликоидность исполнительного органа обеспечивает снижение силы подачи геолода на забой на 25% при прямой форме режущей кромки, на 26% при наклонной, на 45% при выпуклой и на 35% при полувыпуклой. Силы резания уменьшаются на 12%, 19%, 17% и 15% соответственно. Момент на исполнительном органе уменьшится на 11% при прямой, на 9% при наклонной, на 15% при выпуклой и на 10% при полувыпуклой форме режущей кромки. Проведенное исследование подтверждает необходимость создания исполнительных органов геолода геликоидной формы, основываясь не только на особенностях работы геолода, но и на влиянии геликоидности исполнительного органа геолода на его силовые параметры. Наибольшее влияние геликоидности наблюдается на ножевые исполнительные органы геолода с наклонной формой режущей кромки.

Для цитирования: Хорешок А.А., Преис Е.В., Пашков Д.А. Обоснование необходимости применения исполнительных органов геолода геликоидной формы // Горное оборудование и электромеханика. 2026. № 2 (184). С. 85-94. DOI: 10.26730/1816-4528-2026-2-85-94, EDN: ZYTTPO

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук», проект FWEZ-2026-0001 «Разработка комплексных геотехнологий добычи запасов угля в сложных горно-геологических условиях без постоянного присутствия людей в зонах ведения горных работ, а также методов повышения эффективности эксплуатации и контроля технического состояния роботизированного оборудования» (рег. № 1023032000051-1.5.1; 2.7.5).

Введение

Рост населения и расширение инфраструктуры ведет к поиску новых мест для размещения сооружений различного назначения, размещение которых возможно организовать в трех местах: космос, водоемы и недра Земли [1–3].

Одним из перспективных вариантов расширения территорий является освоение подземного пространства. Основными направлениями освоения подземного пространства являются использование природных полостей, к примеру, пещер, повторное использование существующих выработок, но в но-



Рис. 1. Опытный образец геохода модели «401» диаметром 3,2 м

Fig. 1. Prototype geokhod model "401" with a diameter of 3.2 m

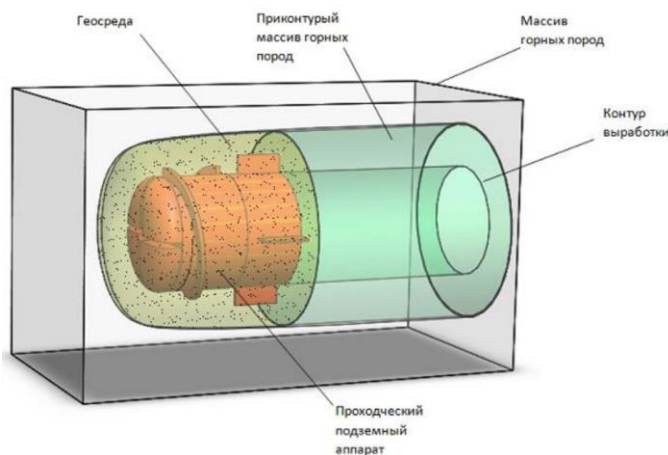


Рис. 2. Проходческий подземный аппарат при проходке выработки

Fig. 2. Tunneling underground apparatus during the excavation

вом качестве, а также строительство новых подземных сооружений различного назначения [4, 5].

Объемы строительства подземных сооружений увеличиваются с каждым годом. Увеличение объемов ведет к повышению требований к применяемым горным машинам, а также к необходимости повышения их производительности, тем самым создавая актуальность к совершенствованию уже существующих горных машин и технологий строительства подземных сооружений, а также к разработке совершенно новых.

В результате исследований коллектива авторов сформирован совершенно новый подход к строительству подземных сооружений. Данный подход представлен геоходной технологией с базовым элементом (горной машиной) – геоходом (Рис. 1). Отличительной особенностью технологии и самого геохода от существующих технологий и горнопроходческих машин является использование приконтурного массива горных пород (геосреды) для создания напорных усилий, т. е. проходка рассматривается как процесс движения твердого тела (про-

ходческого аппарата) в твердой среде (геосреде) (Рис. 2) [6–10].

Разрушение массива горных пород осуществляет исполнительный орган (ИО) горной машины. Для разрушения массива к ИО прикладываются необходимые сила резания и сила подачи. Обеспечение наименьших значений сил резания и подачи приводит к более энергоэффективному процессу разрушения [11–15]. Таким образом, уменьшение сил резания и подачи является актуальной задачей.

Геоходу, как и любой горнопроходческой машине, присуще наличие ИО, в связи с чем уменьшение сил резания и подачи также является актуальной задачей.

Особенности работы ИО геохода

ИО геохода присущ ряд особенностей [16–20]:

- не имеет аналогов среди существующих горнопроходческих систем;
- необходимость разрушения поверхности забоя на полное сечение проводимой выработки и на шаг внешнего движителя за один оборот геохода;
- перемещение режущих инструментов, находящихся ближе к оси вращения геохода, обеспечивается под большими углами в отличие от режущих инструментов, находящихся на периферии (Рис. 3);
- необходимость формирования и разрушения уступа;
- необходимость обеспечения соответствия параметрам внешнего движителя и жесткой кинематической связи с ним.

Из Рис. 3 и особенностей работы ИО геохода видны предпосылки к необходимости применения ИО геликоидной формы. Для обоснования необходимости применения исполнительных органов геохода геликоидной формы проведено исследование влияние

геликоидности ножевого ИО геохода на его силовые параметры.

На Рис. 4 представлены варианты ножевого ИО геохода геликоидной формы (а) и негеликоидной (б).

Математическая модель взаимодействия ножевого ИО геохода с породой забоя

Сила подачи ИО геохода на забой (P_o), сила резания ($R_{u.o}$), а также момент сопротивления резанию ($M_{u.o}$) при любой форме режущей кромки (Рис. 5) [21–25]:

$$P_o = n(P_{o.св} + P_{бок}), \quad (1)$$

$$R_{u.o} = n(R_{u.o.св} + R_{u.o.бок}), \quad (2)$$

$$M_{u.o} = n(M_{u.o.св} + M_{u.o.бок}). \quad (3)$$

где n – количество радиальных лучей на ИО; $P_{o.св}$ – составляющая силы подачи, зависящая от ширины среза;

$P_{бок}$ – составляющая силы подачи, не зависящая от ширины среза; $R_{u.o.св}$ – составляющая силы резания, зависящая от ширины среза; $R_{u.o.бок}$ – составляющая силы резания, не зависящая от ширины среза; $M_{u.o.св}$ – момент сопротивления резанию, зависящий от

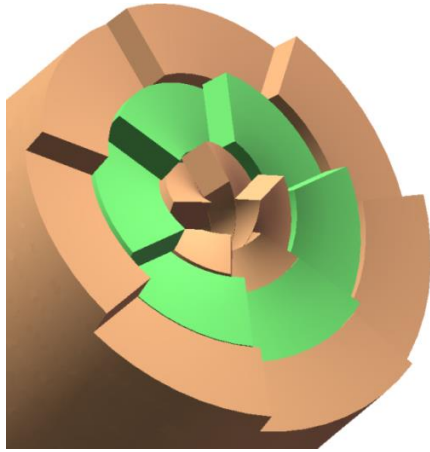


Рис. 3. Поверхность взаимодействия ИО геохода с породой забоя

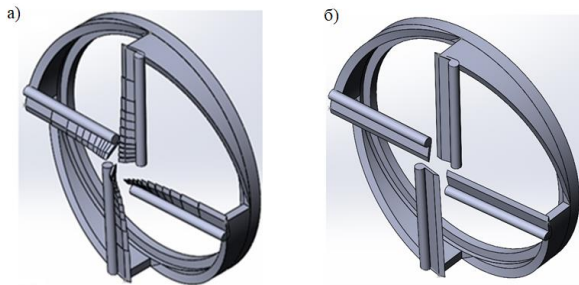


Рис. 4. Ножевой ИО геохода:
а – геликоидный; б – негеликоидный
Fig. 4. Knife IO geokhod
a – helicoid; b – non-helicoid

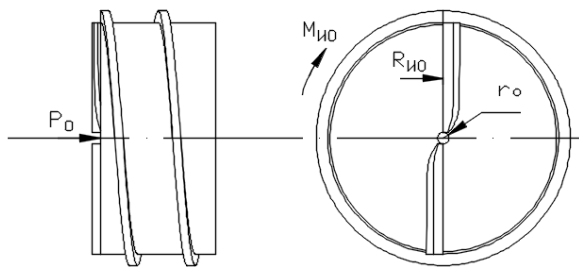


Рис. 5. Расчетная схема силовых параметров ножевого ИО геохода
Fig. 5. The design scheme of the power parameters of the knife IO geokhod

ширины среза; $M_{и.о.бок}$ – момент сопротивления резанию, не зависящий от ширины среза.

Составляющие сил подачи, резания и момент сопротивления резанию, не зависящие от ширины среза при любой форме режущей кромки [21–25]:

$$P_{о.бок} = \frac{h_B}{n} \sum_{i=1}^2 \left(m_{бок} \frac{h_B}{n} \cos \beta_i + m_{бок.ср} \right) \left(\frac{\sin 2\beta_i}{2} - ctg(\delta + \phi_{mp}) \cos^2 \beta_i \right), \quad (4)$$

$$R_{и.о.бок} = \frac{h_B}{n} \sum_{i=2}^2 \left(m_{бок} \frac{h_B}{n} \cos \beta_i + m_{бок.ср} \right) \left(\cos^2 \beta_i + ctg(\delta + \phi_{mp}) \frac{\sin 2\beta_i}{2} \right), \quad (5)$$

$$M_{и.о.бок} = \frac{h_B r_o}{n} \left(m_{бок} \frac{h_B}{n} \cos \beta_1 + m_{бок.ср} \right) \left(\cos^2 \beta_1 + ctg(\delta + \phi_{mp}) \frac{\sin 2\beta_1}{2} \right) + \frac{h_B r_o}{n} \left(m_{бок} \frac{h_B}{n} \cos \beta_2 + m_{бок.ср} \right) \left(\cos^2 \beta_2 + ctg(\delta + \phi_{mp}) \frac{\sin 2\beta_2}{2} \right). \quad (6)$$

где h_B – шаг внешнего движителя геохода, $m_{бок}$ – коэффициент, характеризующий силу разрушения грунта в боковых частях прорези, β_i – угол перемещения i -точки ножа ИО геохода, β_1 – угол перемещения точки ножа ИО геохода, расположенной на расстоянии r_o , $m_{бок.ср}$ – коэффициент, характеризующий удельную силу среза одним из боковых ребер ножа δ – угол резания, ϕ_{mp} – угол трения грунта о нож, β_2 – угол перемещения точки ножа ИО геохода, расположенной на расстоянии r_o , r_o – радиус головной секции геохода, r_o – радиус образующей.

Составляющие сил подачи, резания и момент сопротивления резанию, зависящие от ширины среза при прямой форме режущей кромки [21–25]:

$$P_{о.св} = \phi m_{св} \frac{h_g}{n} \left(\frac{h_g}{2\pi} \ln \left(\frac{\sin \beta_2}{\sin \beta_1} \right) - ctg(\delta + \phi_{TP}) \left(r_o - r_o + \frac{h_g}{2\pi} (\beta_1 - \beta_2) \right) \right), \quad (7)$$

$$R_{и.о.св} = \phi m_{св} \frac{h_g}{n} \left(\left(r_o - r_o + \frac{h_g}{2\pi} (\beta_1 - \beta_2) \right) + ctg(\delta + \phi_{TP}) \frac{h_g}{2\pi} \ln \left(\frac{\sin \beta_2}{\sin \beta_1} \right) \right), \quad (8)$$

$$M_{и.о.св} = \phi m_{св} \frac{h_g^2}{2\pi n} \left(\frac{h_g}{2\pi} \left(\frac{\sin^2 \beta_2 - \sin^2 \beta_1}{2 \sin^2 \beta_1 \sin^2 \beta_2} + \ln \left(\frac{\sin \beta_1}{\sin \beta_2} \right) \right) + ctg(\delta + \phi_{TP}) \left((r_o - r_o) + \frac{h_g}{2\pi} (\beta_1 - \beta_2) \right) \right). \quad (9)$$

где ϕ – коэффициент, учитывающий влияние угла резания, $m_{св}$ – удельная сила резания для преодоления сопротивлений грунта передней гранью при угле резания 45° .

Составляющие сил подачи, резания и момент сопротивления резанию, зависящие от ширины среза при наклонной форме режущей кромки (Рис. 6, а) [21–25]:

$$P_{о.св} = \phi m_{св} \frac{h_g}{n} \left(\frac{h_g}{2\pi} \ln \left(\frac{\sin \beta_2}{\sin \beta_1} \right) - ctg(\delta + \phi_{TP}) \cos(\gamma_{uo}) \left(r_o - r_o + \frac{h_g}{2\pi} (\beta_1 - \beta_2) \right) \right), \quad (10)$$

$$R_{и.о.св} = \phi m_{св} \frac{h_g}{n} \left(\left(r_o - r_o + \frac{h_g}{2\pi} (\beta_1 - \beta_2) \right) + ctg(\delta + \phi_{TP}) \cos(\gamma_{uo}) \frac{h_g}{2\pi} \ln \left(\frac{\sin \beta_2}{\sin \beta_1} \right) \right), \quad (11)$$

$$M_{u.o.c\delta} = \phi m_{c\delta} \frac{h_6^2}{2\pi n} \left(\frac{h_6}{2\pi} \left(\frac{\sin^2 \beta_2 - \sin^2 \beta_1}{2 \sin^2 \beta_1 \sin^2 \beta_2} + \ln \left(\frac{\sin \beta_1}{\sin \beta_2} \right) \right) + \right. \\ \left. + ctg(\delta + \phi_{TP}) \cos(\gamma_{uo}) \left((r_z - r_o) + \frac{h_6}{2\pi} (\beta_1 - \beta_2) \right) \right) \quad (12)$$

где γ_{uo} – угол наклона ножа.

Составляющие сил подачи, резания и момент сопротивления резанию, зависящие от ширины среза при выпуклой форме режущей кромки (Рис. 6, б) [21–25]:

$$P_{o.c\delta} = \phi m_{c\delta} \frac{h_6}{r_{kp} n} \left(\frac{h_6}{2\pi} \ln \left(\frac{\sin \beta_2}{\sin \beta_1} \right) - ctg(\delta + \phi_{TP}) \left(\frac{r_z - r_o}{2} \sqrt{r_{kp}^2 - \left(\frac{r_z - r_o}{2} \right)^2} + \right. \right. \\ \left. \left. + \left(r_{kp}^2 + \frac{h_6^2}{2\pi^2} \right) \arcsin \left(\frac{r_z - r_o}{2r_{kp}} \right) - \frac{h_6}{\pi} r_{kp} \sqrt{1 + \left(\frac{h_6}{2\pi r_{kp}} \right)^2} \right) \right. \\ \left. \left(\arctg \left(\frac{\pi(r_z - r_o) \sqrt{r_{kp}^2 + \left(\frac{h_6}{2\pi} \right)^2}}{h_6 \sqrt{r_{kp}^2 - \left(\frac{r_z - r_o}{2} \right)^2}} \right) \right) \right) \quad (13)$$

$$R_{u.o.c\delta} = \phi m_{c\delta} \frac{h_6}{n} \left(\left(r_z - r_o + \frac{h_6}{2\pi} (\beta_1 - \beta_2) \right) + ctg(\delta + \phi_{TP}) \frac{h_6}{2\pi r_{kp}} \times \right. \\ \left. \times \left(\frac{r_z - r_o}{2} \sqrt{r_{kp}^2 + \frac{h_6^2}{2\pi^2}} \right) \right) \ln \left(\frac{\left(\left(\frac{r_z - r_o}{2} \right) \sqrt{r_{kp}^2 + \frac{h_6^2}{2\pi^2}} + \sqrt{r_{kp}^2 - \left(\frac{r_z - r_o}{2} \right)^2} \right)}{\left(\left(-\frac{r_z - r_o}{2} \right) \sqrt{r_{kp}^2 + \frac{h_6^2}{2\pi^2}} + \sqrt{r_{kp}^2 - \left(\frac{r_z - r_o}{2} \right)^2} \right)} \right) \quad (14)$$

$$M_{u.o.c\delta} = \phi m_{c\delta} \frac{h_6^2}{2\pi r_{kp} n} \left(\frac{h_6}{2\pi} \left(\frac{\sin^2 \beta_2 - \sin^2 \beta_1}{2 \sin^2 \beta_1 \sin^2 \beta_2} + \ln \left(\frac{\sin \beta_1}{\sin \beta_2} \right) \right) + \right. \\ \left. + \frac{ctg(\delta + \phi_{TP})}{r_{kp}} \times \left(\frac{r_z - r_o}{2} \sqrt{r_{kp}^2 - \left(\frac{r_z - r_o}{2} \right)^2} + 2 \left(\frac{r_{kp}^2}{2} + \left(\frac{h_6}{2\pi} \right)^2 \right) \arcsin \left(\frac{r_z - r_o}{2r_{kp}} \right) - \right. \right. \\ \left. \left. \left(\arctg \left(\frac{\pi(r_z - r_o) \sqrt{r_{kp}^2 + \left(\frac{h_6}{2\pi} \right)^2}}{h_6 \sqrt{r_{kp}^2 - \left(\frac{r_z - r_o}{2} \right)^2}} \right) \right) \right) \right) \quad (15)$$

$$\left. - \frac{h_6}{\pi} r_{kp} \sqrt{1 + \left(\frac{h_6}{2\pi r_{kp}} \right)^2} \right) \left(\arctg \left(\frac{\pi(r_z - r_o) \sqrt{r_{kp}^2 + \left(\frac{h_6}{2\pi} \right)^2}}{h_6 \sqrt{r_{kp}^2 - \left(\frac{r_z - r_o}{2} \right)^2}} \right) \right) \right)$$

где r_{kp} – радиуса кривизны режущей кромки ножа.

Составляющие сил подачи, резания и момент сопротивления резанию, зависящие от ширины среза при полувыпуклой форме режущей кромки (Рис. 6, в) [21–25]:

$$P_{o.c\delta} = \phi m_{c\delta} \frac{h_6}{n} \left(\frac{h_6}{2\pi} \ln \left(\frac{\sin \beta_2}{\sin \beta_1} \right) - \frac{ctg(\delta + \phi_{TP})}{r_{kp}} \left(\frac{r_z}{2} \sqrt{r_{kp}^2 - r_z^2} - \frac{r_o}{2} \sqrt{r_{kp}^2 - r_o^2} + \right. \right. \\ \left. \left. + \left(\frac{r_{kp}^2}{2} + \frac{h_6^2}{4\pi^2} \right) \left(\arcsin \left(\frac{r_z}{r_{kp}} \right) - \arcsin \left(\frac{r_o}{r_{kp}} \right) \right) \right) \right. \\ \left. - \frac{h_6}{2\pi} r_{kp} \sqrt{1 + \left(\frac{h_6}{2\pi r_{kp}} \right)^2} \left(\arctg \left(\frac{2\pi r_z \sqrt{r_{kp}^2 + \left(\frac{h_6}{2\pi} \right)^2}}{h_6 \sqrt{r_{kp}^2 - r_z^2}} \right) - \right. \right. \\ \left. \left. - \arctg \left(\frac{2\pi r_o \sqrt{r_{kp}^2 + \left(\frac{h_6}{2\pi} \right)^2}}{h_6 \sqrt{r_{kp}^2 - r_o^2}} \right) \right) \right) \quad (16)$$

$$\left. - \frac{h_6}{2\pi} r_{kp} \sqrt{1 + \left(\frac{h_6}{2\pi r_{kp}} \right)^2} \left(\arctg \left(\frac{2\pi r_z \sqrt{r_{kp}^2 + \left(\frac{h_6}{2\pi} \right)^2}}{h_6 \sqrt{r_{kp}^2 - r_z^2}} \right) - \right. \right. \\ \left. \left. - \arctg \left(\frac{2\pi r_o \sqrt{r_{kp}^2 + \left(\frac{h_6}{2\pi} \right)^2}}{h_6 \sqrt{r_{kp}^2 - r_o^2}} \right) \right) \right)$$

$$R_{u.o.c\delta} = \phi m_{c\delta} \frac{h_6}{n} \left(\left(r_z - r_o + \frac{h_6}{2\pi} (\beta_1 - \beta_2) \right) + ctg(\delta + \phi_{TP}) \frac{h_6}{2\pi r_{kp}} \times \right. \\ \left. \times \left(\frac{\sqrt{r_{kp}^2 - r_z^2} - \sqrt{r_{kp}^2 - r_o^2} - \sqrt{r_{kp}^2 + \left(\frac{h_6}{2\pi} \right)^2}}{\left(\left(\sqrt{r_{kp}^2 + \left(\frac{h_6}{2\pi} \right)^2} + \sqrt{r_{kp}^2 - r_z^2} \right) \sqrt{r_o^2 + \left(\frac{h_6}{2\pi} \right)^2} \right)} \right) \right) \ln \left(\frac{\left(\left(\sqrt{r_{kp}^2 + \left(\frac{h_6}{2\pi} \right)^2} + \sqrt{r_{kp}^2 - r_z^2} \right) \sqrt{r_o^2 + \left(\frac{h_6}{2\pi} \right)^2} \right)}{\left(\left(-\sqrt{r_{kp}^2 + \left(\frac{h_6}{2\pi} \right)^2} + \sqrt{r_{kp}^2 - r_o^2} \right) \sqrt{r_z^2 + \left(\frac{h_6}{2\pi} \right)^2} \right)} \right) \right) \quad (17)$$

$$\left. \times \left(\frac{r_z - r_o}{2} \sqrt{r_{kp}^2 + \frac{h_6^2}{2\pi^2}} \right) \right) \ln \left(\frac{\left(\left(\frac{r_z - r_o}{2} \right) \sqrt{r_{kp}^2 + \frac{h_6^2}{2\pi^2}} + \sqrt{r_{kp}^2 - \left(\frac{r_z - r_o}{2} \right)^2} \right)}{\left(\left(-\frac{r_z - r_o}{2} \right) \sqrt{r_{kp}^2 + \frac{h_6^2}{2\pi^2}} + \sqrt{r_{kp}^2 - \left(\frac{r_z - r_o}{2} \right)^2} \right)} \right)$$

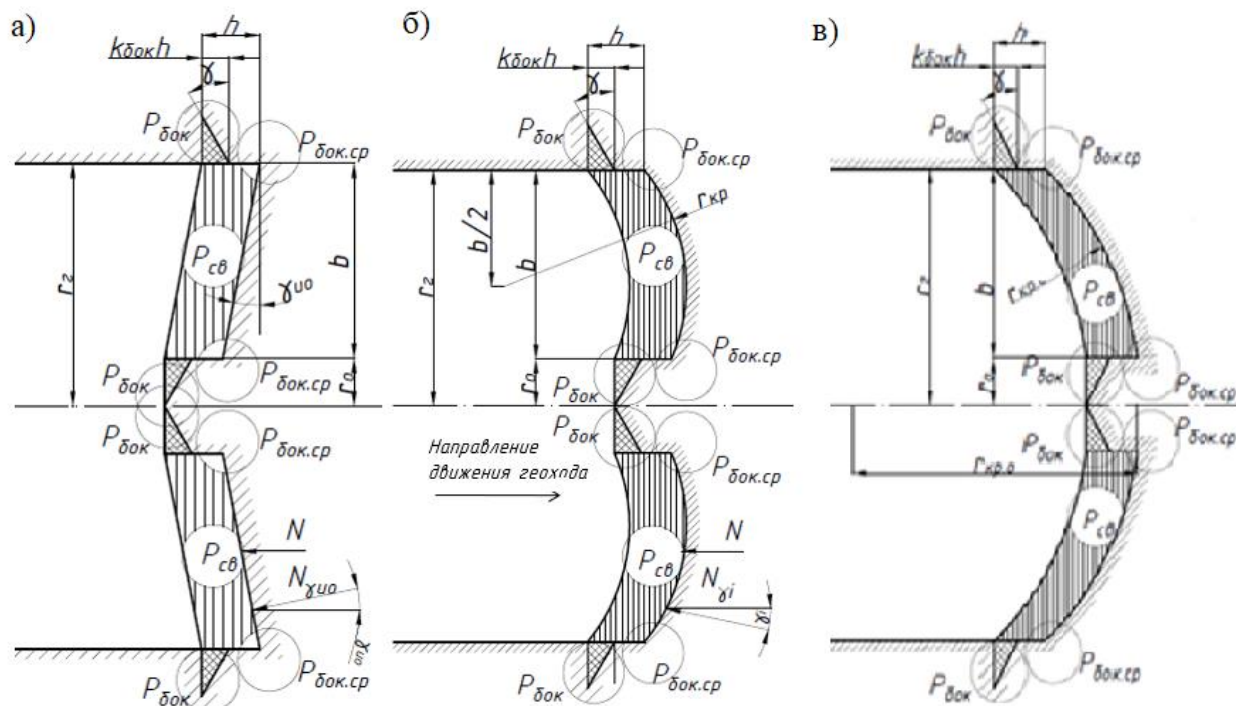


Рис. 6. Схема действия сил резания ножевым ИО геохода с наклонной (а), выпуклой (б) и полувыпуклой (в) формой режущей кромки

Fig. 6. Diagram of the action of cutting forces with a knife IO geokhod with an inclined (a), convex (b) and semi-convex (c) shape of the cutting edge

Таблица 1. Параметры породы

Table 1. Breed parameters

Наименование	Обозначение	Единица измерения	Значение
Коэффициент, учитывающий влияние угла резания	φ		0,59
Удельная сила резания в лобовой части прорези при угле резания 45°	$m_{св}$	Н/м ²	97000
Сила разрушения в боковых частях прорези	$m_{бок}$	Н/м ²	36000
Удельная сила среза одним из боковых ребер ножа	$m_{бок.ср}$	Н/м	8490
Угол трения	$\varphi_{тр}$	град	31,4
Коэффициент глубины расширяющей части прорези	$k_{бок}$		0,9
Угол наклона расширяющей части прорези к горизонту	$\gamma_{пр}$	град	30

Таблица 2. Геометрические параметры геохода и его ИО

Table 2. Geometric parameters of the geokhod and its IO

Наименование	Обозначение	Единица измерения	Значение
Количество лучей	n	шт	4
Шаг внешнего движителя геохода	h_e	м	0,8
Угол резания	δ	град	25
Радиус головной секции геохода	r_z	м	1,6
Радиус образующей	r_o	м	0,1
Угол наклона ножа	$\gamma_{ио}$	град	10
Радиус кривизны режущей кромки ножа при выпуклой форме режущей кромки	$r_{кр}$	м	0,75
Радиус кривизны режущей кромки ножа при полувыпуклой форме режущей кромки	$r_{кр}$	м	1,6

Таблица 3. Значения силовых параметров взаимодействия ножевого ИО геохода с породой забоя
 Table 3. The values knife IO geokhod interaction force parameters with the rock face

Параметр	Прямая форма режущей кромки	Наклонная форма режущей кромки	Выпуклая форма режущей кромки	Полувывпуклая форма режущей кромки
Сила подачи ИО геохода на забой (P_o), кН	$\frac{-9,8}{-7,3}$	$\frac{-9,8}{-7,2}$	$\frac{-2,2}{-1,2}$	$\frac{-7,9}{-5,1}$
Сила резания ($R_{u.o.}$), кН	$\frac{32,2}{28,3}$	$\frac{31,2}{25,1}$	$\frac{27,2}{22,7}$	$\frac{29,0}{24,7}$
Момент на ИО ($M_{ИО}$), кНм	$\frac{25,6}{22,7}$	$\frac{24,9}{22,7}$	$\frac{24,8}{21,9}$	$\frac{24,9}{22,4}$

$$M_{u.o.c} = \phi m_{св} \frac{h_e^2}{2\pi n} \left(\frac{h_e}{2\pi} \left(\frac{\sin^2 \beta_2 - \sin^2 \beta_1}{2 \sin^2 \beta_1 \sin^2 \beta_2} + \ln \left(\frac{\sin \beta_1}{\sin \beta_2} \right) \right) + \frac{ctg(\delta + \phi_{TP})}{r_{kp}} \times \left(\frac{r_c}{2} \sqrt{r_{kp}^2 - r_c^2} - \frac{r_o}{2} \sqrt{r_{kp}^2 - r_o^2} + \left(\frac{r_{kp}^2}{2} + \left(\frac{h_e}{2\pi} \right)^2 \right) \left(\arcsin \left(\frac{r_c}{r_{kp}} \right) - \arcsin \left(\frac{r_o}{r_{kp}} \right) \right) - \frac{h_e}{2\pi} r_{kp} \sqrt{1 + \left(\frac{h_e}{2\pi r_{kp}} \right)^2} \left(\arctg \left(\frac{2\pi r_c \sqrt{r_{kp}^2 + \left(\frac{h_e}{2\pi} \right)^2}}{h_e \sqrt{r_{kp}^2 - r_c^2}} \right) - \arctg \left(\frac{2\pi r_o \sqrt{r_{kp}^2 + \left(\frac{h_e}{2\pi} \right)^2}}{h_e \sqrt{r_{kp}^2 - r_o^2}} \right) \right) \right) \right) \quad (18)$$

Исходные данные для исследования влияния геликоидности ножевого ИО геохода на его силовые параметры

Для исследования влияния геликоидности ИО геохода принята порода с коэффициентом крепости $f=1$ – слабый песчаник. Для слабого песчаника в работах [26] приводятся параметры породы, необходимые для определения силовых параметров взаимодействия ИО с породой забоя. Значения этих параметров представлены в Таблице 1.

В выражениях (1) – (18) кроме параметров породы приводятся геометрические параметры как геохода, так и его ИО. Значения геометрических параметров приведены в Таблице 2.

Результаты исследования влияния геликоидности ножевого ИО геохода на его силовые параметры

По выражениям (1) – (18) и исходным данным, представленным в Таблицах 1 и 2, были определены значения силовых параметров ножевого ИО геохода геликоидной и негеликоидной формы. Значения силовых параметров приведены в Таблице 3 (в числителе – при негеликоидной форме ИО геохода, в знаменателе – с геликоидной формой).

По результатам, приведенным в Таблице 3, геликоидность ИО обеспечивает снижение силы подачи геохода на забой на 25% при прямой форме режущей кромки, на 26% при наклонной, на 45% при выпуклой и на 35% при полувывпуклой. Силы резания уменьшаются на 12%, 19%, 17% и 15% соответственно. Момент на ИО уменьшится на 11% при прямой, на 9% при наклонной, на 15% при выпуклой и на 10% при полувывпуклой форме режущей кромки.

Выводы

Геликоидность ИО геохода обеспечивает снижение его силовых параметров. Проведенное исследование подтверждает необходимость создания ИО геохода геликоидной формы не только по особенностям работы ИО геохода, но и по влиянию геликоидности ИО геохода на его силовые параметры. Дальнейшие разработки и совершенствования уже существующих ИО геохода необходимо совершать в направлении обеспечения геликоидной формы ИО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nesterov V., Aksenov V., Sadovets V. [et al.] Determination of the Energy Capacity of Face Rock Breaking by the Geokhod's Knife Operating Element and its Dependence on the External Propeller's Pitch // E3S Web of Conferences: IVth International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 14–16 октября 2019 года. Vol. 105. EDP Sciences : EDP Sciences, 2019. P. 03024. DOI: 10.1051/e3sconf/201910503024.
2. Аксенов В. В., Бегляков В. Ю., Дубинкин Д. М. Обоснование необходимости создания нового научного направления – геодинамика подземных аппаратов // Устойчивое развитие горных территорий. 2021. Т. 13. № 4(50). С. 637–643. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-4-637-643.
3. Бегляков В. Ю., Аксенов В. В., Костинцев И. К., Хорешок А. А. Схемы нагружения при моделировании процесса взаимодействия внешнего движителя геохода приконтурным массивом пород // Горные науки и технологии. 2017. № 3. С. 3–8. DOI: 10.17073/2500-0632-2017-3-3-8.

4. Аксенов В. В., Вальтер А. В. Специфика геолога как предмета производства // Научное обозрение. 2014. № 8–3. С. 945–950.

5. Aksenov V. V., Beglyakov V. Yu., Kazantsev A. A., Doroshenko I. V. Development of requirements for a basic standardized mathematical model of geokhod // Urgent problems of modern mechanical engineering. Yurga, 17–18 декабря 2015 года. Yurga : IOP Publishing Ltd, 2016. P. 12031.

6. Вальтер А. В., Аксенов В. В., Чазов П. А. Математическое обеспечение обработки данных координатного контроля оболочки геолога // Технологии и материалы. 2015. № 3. С. 4–9.

7. Dronov A. A., Beglyakov V. Yu., Aksenov V. V. [et al.] Determination of external impacts on the bearing unit of the geokhod // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: The conference proceedings ISPCIET 2019, Veliky Novgorod, 27–28 июня 2019 года. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslav-the-Wise Novgorod State University". Veliky Novgorod : IOP Publishing Ltd, 2019. P. 012015. DOI: 10.1088/1757-899X/656/1/012015.

8. Aksenov V. V., Efremkov A. B., Beglyakov V. Y. The influence of relative distance between ledges on the stress-strain state of the rock at a face // Applied Mechanics and Materials. 2013. Vol. 379. Pp. 16–19. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.379.16.

9. Glazkov Y., Kazantsev A., Aksenov V. [et al.] Determination of Load Performance of Two-Bar Girder Lining // E3s web of conferences, Kemerovo, Russian Federation, 24–26 апреля 2017 года. Kemerovo, Russian Federation : EDP Sciences, 2017. P. 03009. DOI: 10.1051/e3sconf/20171503009.

10. Aksenov V., Chicherin I., Kazantsev A. [et al.] Substantiation of the Necessity for Design of Geokhod Control System // E3S Web of Conferences: The Second International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 20–22 ноября 2017 года. Kemerovo : EDP Sciences, 2017. DOI: 10.1051/e3sconf/20172103001.

11. Aksenov V. V., Beglyakov V. Y., Kazantsev A. A., Ganovich S. I. Importance of Resultant Action of the Mining Machine Actuator for Stresses in Impact Zone of a Separate Cutter // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Yurga, 17–18 декабря 2015 года. Yurga : Institute of Physics Publishing, 2016. P. 012030. DOI: 10.1088/1757-899X/127/1/012030.

12. Аксенов В. В., Ефремов А. Б., Тимофеев В. Ю., Блащук М. Ю. Разработка и анализ возможных вариантов гидропривода в трансмиссии геолога // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № S3. С. 184–193.

13. Аксенов В. В., Садовец В. Ю., Бегляков В. Ю. Синтез конструктивных решений исполнительных органов геологов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № S3. С. 49–54.

14. Аксенов В. В., Садовец В. Ю. Оценка необходимости создания крепевозводящего модуля геолога и его функциональных устройств // Горный

информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № S3. С. 9–14.

15. Aksenov V. V., Khoreshok A. A., Beglyakov V. Yu., Efremkov A. B. The concept of creating perspective technological paradigm of formation (development) of the underground space on the basis of the leading development of new approaches in construction geotechnology and geotechnics. Premises and basic provisions (part 1) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: The conference proceedings ISPCIET 2019, Veliky Novgorod, 27–28 июня 2019 года. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslav-the-Wise Novgorod State University". Veliky Novgorod : IOP Publishing Ltd, 2019. P. 012004. DOI: 10.1088/1757-899X/656/1/012004.

16. Aksenov V. V., Khoreshok A. A., Beglyakov V. Yu., Efremkov A. B. The concept of creating perspective technological paradigm of formation (development) of the underground space on the basis of the leading development of new approaches in construction geotechnology and geotechnics. Premises and basic provisions (part 2) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : The conference proceedings ISPCIET 2019, Veliky Novgorod, 27–28 июня 2019 года. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslav-the-Wise Novgorod State University". Veliky Novgorod : IOP Publishing Ltd, 2019. P. 012005. DOI: 10.1088/1757-899X/656/1/012005.

17. Аксенов В. В., Ефремов А. Б. Геовинчестерная технология и геолоды – инновационный подход к освоению подземного пространства // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2008. № 4. С. 19–28.

18. Садовец В. Ю., Коперчук А. В. Разработка конструктивных решений устройств для возведения крепи в условиях геолодной технологии // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № 1. С. 327–335.

19. Аксенов В. В., Садовец В. Ю. Оценка необходимости создания крепевозводящего модуля геолога и его функциональных устройств // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № S3. С. 9–14.

20. Walter A. V., Aksenov V. V. Determining deviations in geometry of the geokhod shells // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 770. Pp. 439–444.

21. Аксенов В. В., Костинцев И. К., Бегляков В. Ю. Особенности работы внешнего двигателя геолога // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № S6. С. 419–425.

22. Sadovets V. Yu., Beglyakov V. Yu., Aksenov V. V. Development of math model of geokhod bladed working body interaction with geo-environment // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Yurga, 21–23 мая 2015 года. Yurga : Institute of Physics Publishing, 2015. P. 012085. DOI: 10.1088/1757-899X/91/1/012085.

23. Садовец В. Ю. Обоснование конструктивных и силовых параметров ножевых исполнитель-

ных органов геологов: специальность 05.05.06 "Горные машины" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Садовец Владимир Юрьевич. Кемерово, 2007. 153 с.

24. Садовец В. Ю., Аксенов В. В., Бегляков В. Ю. Разработка модели взаимодействия ножевого исполнительного органа геолога с геосредой // Технологии и материалы. 2015. № 1. С. 36–41.

25. Пашков Д. А. Обоснование силовых и энергетических параметров исполнительных органов геолога для разрушения мягких пород: специальность 05.05.06 "Горные машины": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пашков Дмитрий Алексеевич. Кемерово, 2021. 176 с.

26. Ветров Юрий Александрович. Резание грунтов землеройными машинами. Москва : Машиностроение, 1971. 360 с.

© 2026 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Хорешок Алексей Алексеевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, г. Кемерово, Российская Федерация, Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН, профессор, г. Кемерово, Российская Федерация, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева;

Прейс Елена Валерьевна – кандидат технических наук, доцент, г. Кемерово, Российская Федерация, Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева;

Пашков Дмитрий Алексеевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник НЦЦТ, г. Кемерово, Российская Федерация, Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, г. Кемерово, Российская Федерация, Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН; e-mail: pashkov.d.a@inbox.ru

Заявленный вклад авторов:

Хорешок Алексей Алексеевич – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, написание текста.

Прейс Елена Валерьевна – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, написание текста.

Пашков Дмитрий Алексеевич – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2026-2-85-94

Alexey A. Khoreshok^{1,2}, Elena V. Preis², Dmitry A. Pashkov^{1,2*},

¹ Institute of Coal of the Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry SB RAS

² T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

* for correspondence: pashkovda@kuzstu.ru

NEED JUSTIFICATION FOR THE USE OF EXECUTIVE BODIES OF THE HELICOID FORM GEOKHOD



Article info

Received:

15 January 2026

Accepted for publication:

15 March 2026

Abstract.

The article is aimed at substantiating the need for the use of executive bodies of a helical geokhod. The relevance of the study is noted, which consists in ensuring the lowest values of cutting and feeding forces for a more energy-efficient destruction process. The features of the geokhod's executive body are given. Using the example of a knife executive body of a geokhod with various cutting edge shapes, a study was conducted on the effect of the geoloid executive body of a geokhod on its power parameters. A mathematical model of the interaction of the knife executive body of a geokhod with various cutting edge shapes with the face rock is presented. The initial data for the study has been accepted. According to the results of the work,

Accepted:
15 April 2026

Published:
04 June 2026

Keywords: mining machines, geokhod, knife of the executive body, complex helicoid

the helicoid nature of the executive body reduces the force of the geokhod feed to the face by 25% with a straight cutting edge, by 26% with an inclined one, by 45% with a convex one and 35% with a semi-convex one. Cutting forces are reduced by 12%, 19%, 17% and 15%, respectively. The torque on the actuator will decrease by 11% for straight, by 9% for inclined, by 15% for convex and 10% for semi-convex cutting edges. The conducted research confirms the need to create executive bodies of the geokhod of a helical shape, based not only on the features of the geokhod, but also on the influence of the helical nature of the executive body of the geokhod on its power parameters. The greatest influence of helicoidity is observed on the knife-like executive organs of the geokhod with an inclined shape of the cutting edge.

For citation: Khoreshok A.A., Preis E.V., Pashkov D.A. Need justification for the use of executive bodies of the helicoid form geokhod. Mining Equipment and Electromechanics, 2026; 2(184):85-94 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2026-2-85-94, EDN: ZYTTPO

Acknowledgments

The work was performed within the framework of the state assignment of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Project FWEZ-2026-0001 «Development of integrated geotechnologies for coal mining in complex mining and geological conditions without the constant presence of people in the mining areas, as well as methods for improving the operational efficiency and monitoring the technical condition of robotic equipment» (Reg. No. 1023032000051-1-1.5.1;2.7.5).

REFERENCES

1. Nesterov V., Aksenov V., Sadovets V. [et al.] Determination of the Energy Capacity of Face Rock Breaking by the Geokhod's Knife Operating Element and its Dependence on the External Propeller's Pitch. *E3S Web of Conferences: IVth International Innovative Mining Symposium*. Kemerovo, October 14-16, 2019. Vol. 105. EDP Sciences: EDP Sciences; 2019. P. 03024. DOI: 10.1051/e3sconf/201910503024.
2. Aksenov V.V., Beglyakov V.Yu., Dubinkin D.M. Substantiation of the need to create a new scientific direction - geodynamics of underground vehicles. *Sustainable development of mountainous territories*. 2021; 13:4(50):637–643. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-4-637-643.
3. Beglyakov V.Yu., Aksenov V.V., Kostinets I.K., Khoreshok A.A. Loading schemes for modeling the interaction of the external propulsion of a geokhod with a contour array of rocks. *Mining Sciences and Technologies*. 2017; 3:3–8. DOI: 10.17073/2500-0632-2017-3-3-8.
4. Aksenov V.V., Walter A.V. The specifics of a geokhod as an object of production. *Scientific review*. 2014; 8–3:945–950.
5. Aksenov V.V., Beglyakov V.Yu., Kazantsev A.A., Doroshenko I.V. Development of requirements for a basic standardized mathematical model of geokhod. *Urgent problems of modern mechanical engineering*. Yurga, December 17–18, 2015. Yurga: IOP Publishing Ltd; 2016. P. 12031.
6. Walter A.V., Aksenov V.V., Chazov P.A. Mathematical support for processing coordinate control data of the geokhod shell. *Technologies and materials*. 2015; 3:4–9.
7. Dronov A.A., Beglyakov V.Yu., Aksenov V.V. [et al.] // Determination of external impacts on the bearing unit of the geokhod. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: The conference proceedings ISPC IET 2019*. Veliky Novgorod, June 27-28, 2019. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslav-the-Wise Novgorod State University". Veliky Novgorod: IOP Publishing Ltd; 2019. P. 012015. DOI: 10.1088/1757-899X/656/1/012015.
8. Aksenov V.V., Efremkov A.B., Beglyakov V.Y. The influence of relative distance between ledges on the stress-strain state of the rock at a face. *Applied Mechanics and Materials*. 2013; 379:16–19. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.379.16
9. Glazkov Y., Kazantsev A., Aksenov V. [et al.] Determination of Load Performance of Two-Barrier Lining. *E3s web of conferences*. Kemerovo, Russian Federation, April 24-26, 2017. Kemerovo, Russian Federation: EDP Sciences; 2017. P. 03009. DOI: 10.1051/e3sconf/20171503009.
10. Aksenov V., Chicherin I., Kazantsev A. [et al.] Substantiation of the Necessity for Design of Geokhod Control System. *E3S Web of Conferences: The Second International Innovative Mining Symposium*. Kemerovo, November 20-22, 2017. Kemerovo: EDP Sciences; 2017. DOI: 10.1051/e3sconf/20172103001.
11. Aksenov V.V., Beglyakov V.Y., Kazantsev A.A., Ganovichev S.I. Importance of Resultant Action of the Mining Machine Actuator for Stresses in the Impact Zone of a Separate Cutter. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Yurga, December 17–18, 2015. Yurga: Institute of Physics Publishing; 2016. P. 012030. DOI: 10.1088/1757-899X/127/1/012030.
12. Aksenov V.V., Efremkov A.B., Timofeev V.Y., Blashchuk M.Y. Development and analysis of possible hydraulic drive options in the geokhod transmission. *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2010. № S3. Pp. 184–193.
13. Aksenov V.V., Sadovets V.Yu., Beglyakov V.Yu. Synthesis of constructive solutions of executive bodies of geohouses. *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2010; S3:49–54.
14. Aksenov V.V., Sadovets V.Yu. Assessment of the need to create a geokhod mounting module and its functional devices. *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2012; S3:9–14.
15. Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Beglyakov V.Yu., Efremkov A.B. The concept of creating perspec-

tive technological paradigm of formation (development) of the underground space on the basis of the leading development of new approaches in construction geotechnology and geotechnics. Premises and basic provisions (part 1). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: The conference proceedings ISPCJET 2019*. Veliky Novgorod, June 27-28, 2019. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslav-the-Wise Novgorod State University". Veliky Novgorod: IOP Publishing Ltd; 2019. P. 012004. DOI: 10.1088/1757-899X/656/1/012004.

16. Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Beglyakov V.Yu., Efremenkov A.B. The concept of creating perspective technological paradigm of formation (development) of the underground space on the basis of the leading development of new approaches in construction geotechnology and geotechnics. Premises and basic provisions (part 2). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: The conference proceedings ISPCJET 2019*. Veliky Novgorod, June 27-28, 2019. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl-the-Wise Novgorod State University". Veliky Novgorod: IOP Publishing Ltd, 2019. P. 012005. DOI: 10.1088/1757-899X/656/1/012005.

17. Aksenov V.V., Efremenkov A.B. Geovinchester technology and geohouses - an innovative approach to the development of underground space. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mining Journal*. 2008; 4:19–28.

18. Sadovets V.Yu., Koperchuk A.V. Development of constructive solutions for the construction of supports in the conditions of geohopping technology. *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2017; 1:327–335.

19. Aksenov V.V., Sadovets V.Yu. Assessment of the need to create a geokhod mounting module and its functional devices. *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2012; S3:9–14.

20. Walter A.V., Aksenov V.V. Determining deviations in geometry of the geokhod shells. *Applied Mechanics and Materials*. 2015; 770:439–444.

21. Aksenov V.V., Kostinets I.K., Beglyakov V.Yu. The specifics of the operation of the external propulsion geokhod. *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2013; S6:419–425.

22. Sadovets V.Yu., Beglyakov V.Yu., Aksenov V.V. Development of the math model of geokhod bladed working body interaction with geo-environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Yurga, 21–23 May 2015. Yurga: Institute of Physics Publishing; 2015. P. 012085. DOI: 10.1088/1757-899X/91/1/012085.

23. Sadovets V.Y. Substantiation of the design and power parameters of knife-type executive bodies of geohouses: specialty 05.05.06 "Mining machines" : dissertation for the degree of candidate of technical Sciences / Sadovets Vladimir Yuryevich. Kemerovo, 2007. 153 p.

24. Sadovets V.Yu., Aksenov V.V., Beglyakov V.Yu. Development of a model of interaction of the knife executive body of a geokhod with the geo-environment. *Technologies and Materials*. 2015; 1:36–41.

25. Pashkov D. A. Substantiation of the power and energy parameters of the executive bodies of the geokhod for the destruction of soft rocks: specialty 05.05.06 "Mining machines": dissertation for the degree of candidate of technical Sciences / Pashkov Dmitry Alekseevich. Kemerovo, 2021. 176 p.

26. Vetrov Yu.A. Cutting of soils by earthmoving machines. Moscow: Mashinostroenie Publ.; 1971. 360 p.

© 2026 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the author:

Alexey A. Khoreshok – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, Kemerovo, Russian Federation, Institute of Coal of the Russian Academy of Sciences, Professor, Kemerovo, Russian Federation, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University;

Elena V. Preis – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kemerovo, Russian Federation, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University;

Dmitry A. Pashkov – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Scientific and Technical Center, Kemerovo, Russian Federation, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Kemerovo, Russian Federation, Institute of Coal of the Russian Academy of Sciences; e-mail: pashkovda@kuzstu.ru

Contribution of the authors:

Alexey A. Khoreshok – setting a research task, conceptualizing research, writing a text.

Elena V. Preis – formulation of a research problem, conceptualization of research, writing a text.

Dmitry A. Pashkov – formulation of a research problem, conceptualization of research, writing a text.

Authors have read and approved the final manuscript.

