

Научная статья

УДК 629.232

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-4-69-75

Аксенов Владимир Валерьевич ¹, Маметьев Леонид Евгеньевич ²,
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: ddm.tm@kuzstu.ru

СИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ГЕОХОДА ПРИ ШАГОВОМ РЕЖИМЕ ДВИЖЕНИЯ

**Информация о статье**

Поступила:

31 мая 2025 г.

Одобрена после
рецензирования:

30 июня 2025 г.

Принята к печати:

01 августа 2025 г.

Опубликована:

28 августа 2025 г.

Ключевые слова:

проходка, горная выработка,
геоход, геоходная технология,
геосреда, режимы движения

Аннотация.

В статье представлены зависимости для определения силовых параметров геохода при шаговом режиме движения. Отмечена перспективность геоходной технологии проходки горных выработок. Приведена отличительная особенность геоходной технологии. Сделан вывод, что во всей горнопроходческой технике для увеличения усилий увеличивают ее вес. Базовый элемент геоходной технологии (Геоход) использует геосреду для формирования тягового и напорного усилий, что приводит к отсутствию влияния веса машины на тяговые и напорные усилия. Отмечается, что изменение крепости породы при проходке горных выработок негативно влияет на создание напорных и тяговых усилий. Увеличиваются энергозатраты, в связи с тем, что при незначительном наличии крепких пород в породах средней или мягкой крепости большую часть времени довольно мощная горнопроходческая машина создает усилия как при проходке выработки в крепких породах. При тех же условиях машина, предназначенная для проходки выработок в породах средней крепости, встретив на пути крепкую породу, может вовсе не создать необходимого тягового и напорного усилия для ее разрушения. В случае проходки горных выработок геоходом возможно уменьшение силовых параметров за счет изменения режима движения геохода с совмещенного к шаговому. Целью работы является определение силовых параметров при шаговом режиме движения геохода в геосреде. Разработана математическая модель движения геохода в геосреде при шаговом режиме. Представлена схема сил, действующих на системы геохода при его движении в геосреде, и наименования этих сил. Установлено, что при шаговом режиме движения возникает дополнительное усилие подтягивания стабилизирующего модуля к тяговому. Полученные выражения позволяют определить силовые параметры геохода при шаговом режиме движения в геосреде.

Для цитирования: Аксенов В.В., Маметьев Л.Е., Пашков Д.А. Силовые параметры геохода при шаговом режиме движения // Горное оборудование и электромеханика. 2025. № 4 (180). С. 69-75. DOI: 10.26730/1816-4528-2025-4-69-75, EDN: SSBYHZ

Благодарность

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» проект FWEZ-2024-0024 «Разработка эффективных технологий добычи угля роботизированными горнодобывающими комплексами без постоянного присутствия людей в зонах ведения горных работ, систем управления и методов оценки технического состояния и диагностики их ресурса и обоснование обеспечения воспроизводства минерально-сырьевой базы. 2024-2025 гг.» (рег. № 124041100071-9).

Введение

Перспективной технологией проходки горных выработок различного назначения, а главное, расположения в пространстве, является геоходная. Отличительная особенность геоходной технологии заключается в том, что проходка рассматривается как процесс движения твердого тела в твердой сре-

де. Под твердым телом понимается проходческий подземный аппарат (геоход), а под твердой средой – геосреда [1-3].

Геоход использует геосреду для формирования тягового и напорного усилий. Данный принцип позволяет с увеличением крепости породы увеличивать тяговое и напорное усилие без изменения

веса машины. Во всей горнопроходческой технике для увеличения усилий увеличивают ее вес [4-6]. Существующие горнопроходческие машины классифицируются по весу, если вес машины больше, значит, можно создать большие тяговые и напорные усилия [7-9]. У геодода данных ограничений нет.

При проходке горных выработок существуют случаи, когда крепость породы меняется в несколько раз [10-12]. Тогда необходимо учитывать наиболее крепкую породу и применять горнопроходческую машину, способную проходить выработки в подобных условиях. Данному способу проходки характерны высокие энергозатраты [13-15] в связи с тем, что при незначительном наличии крепких пород в породах средней или мягкой крепости большую часть времени довольно мощная горнопроходческая машина создает усилия как при проходке выработки в крепких породах. При тех же условиях машина, предназначенная для проходки выработок в породах средней крепости, встретив на пути крепкую породу, может вовсе не создать необходимого тягового и напорного усилия для ее разрушения.

В случае проходки горных выработок геододем возможно уменьшение силовых параметров за счет изменения режима движения геодода с совмещенного к шаговому.

Целью работы является определение силовых параметров при шаговом режиме движения геодода в геосреде.

Математическая модель движения геодода в геосреде при шаговом режиме

Перемещение геодода осуществляется путем вращательно-поступательного движения тягового модуля (ТМ) и поступательного движения стабилизирующего модуля (СМ) [16-18].

Поступательному движению геодода характерен

основной закон динамики поступательного движения

$$\sum F = m \cdot a, \quad (1)$$

где $\sum F$ – сумма сил, действующих на геодода, Н;
 m – масса геодода, кг;
 a – ускорение геодода, м/с².

Сумму сил, действующих на геодода, исходя из рассматриваемой расчетной схемы (Рис. 1), можно представить в виде выражения

$$\sum F = F_T - \sum F_{\text{сопр}}, \quad (2)$$

где F_T – сила тяги, Н;

$\sum F_{\text{сопр}}$ – сумма сопротивлений поступательному движению геодода (лобовое сопротивление), Н.

Основное уравнение динамики вращательного движения

$$\sum M = J \cdot \varepsilon, \quad (3)$$

где $\sum M$ – суммарный момент всех сил, действующих на геодода, Н·м;

J – момент инерции геодода, кг·м²;

ε – угловое ускорение геодода, с⁻².

Суммарный момент всех сил, действующих на геодода, можно представить в виде выражения

$$\sum M = M_{\text{вр}} - \sum M_{\text{сопр}}, \quad (4)$$

где $M_{\text{вр}}$ – вращающий момент, выдаваемый приводом геодода, Н·м;

$\sum M_{\text{сопр}}$ – суммарный момент всех сопротивлений вращению геодода, Н·м.

В случае равномерного прямолинейного перемещения геодода линейное a и угловое ε ускорения геодода будут равняться нулю.

Тогда

$$F_T = \sum F_{\text{сопр}}, \quad (5)$$

$$M_{\text{вр}} = \sum M_{\text{сопр}}. \quad (6)$$

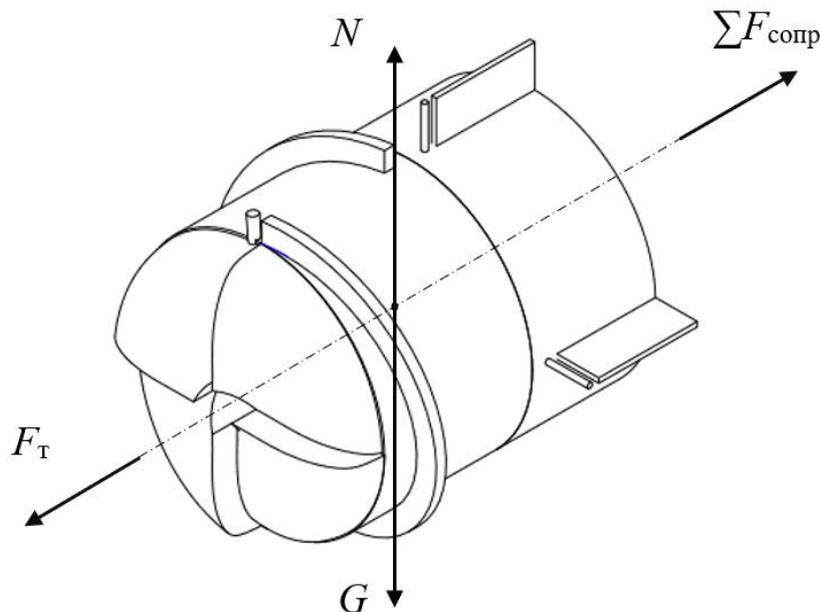


Рис. 1. Силы, действующие на геодода при его движении в геосреде
 Fig. 1. Forces acting on the geodod as it moves in the geo environment

На Рис. 2 показаны силы, действующие на системы геодода при его движении в геосреде.

Наименования обозначений, примененных на схеме, приведены в Таблице 1.

При шаговом режиме движения геодода перемещение ТМ не сопровождается перемещением СМ (Рис. 3). СМ стоит неподвижно. Движение ТМ относительно СМ реализуется за счет телескопического механизма выдвигания между модулями. После полного выдвигания механизма происходит подтягивание СМ. В этот момент исполнительные органы элементов противовращения (ЭП) формируют продольные каналы для ЭП.

При движении ТМ геодода сила тяги должна превышать сумму сопротивлений геосреды движению исполнительными

Таблица 1. Обозначения на схеме
 Table 1. Designations in the diagram

Обозначение величины	Наименование
$P_{иогз}$	Лобовое сопротивление геосреды движению исполнительного органа главного забоя
$R_{иогз}$	Проекция сопротивления геосреды движению исполнительного органа главного забоя на фронтальную плоскость
$G_{ио}$	Вес модуля исполнительного органа
$N_{ио}$	Сила реакции геосреды на модуль исполнительного органа
$T_{ио}$	Сопротивление геосреды движению модуля исполнительного органа от сил трения
$F_{ио-т_{вз}}^{ио-т}$	Сила взаимодействия между модулями исполнительного органа и тяговым
$M_{ио-т_{вз}}^{ио-т}$	Момент взаимодействия между модулями исполнительного органа и тяговым
$P_{иовд}$	Сопротивление геосреды движению исполнительного органа внешнего движителя
$R_{иовд}$	Проекция составляющей силы резания исполнительным органом внешнего движителя на плоскость, перпендикулярную оси вращения геохода
$G_{т}$	Вес тягового модуля
$N_{т}$	Сила реакции геосреды на тяговый модуль
$T_{т}$	Сопротивление геосреды движению тягового модуля от сил трения
$T_{вд}$	Сопротивление геосреды движению внешнего движителя от сил трения
$R_{вд}$	Реакция вмещающей породы на внешний движитель
$F_{т-с_{вз}}^{т-с}$	Сила взаимодействия между тяговым и стабилизирующим модулями
$M_{т-с_{вз}}^{т-с}$	Момент взаимодействия между тяговым и стабилизирующим модулями
$P_{иозп}$	Сопротивление геосреды движению исполнительного органа элемента противовращения
$R_{иозп}$	Проекция составляющей силы резания исполнительным органом элемента противовращения на плоскость, перпендикулярную оси вращения геохода
$G_{с}$	Вес стабилизирующего модуля
$N_{с}$	Сила реакции геосреды на стабилизирующий модуль
$T_{с}$	Сопротивление геосреды движению стабилизирующего модуля от сил трения
$T_{эп}$	Сопротивление геосреды движению элементу противовращения от сил трения

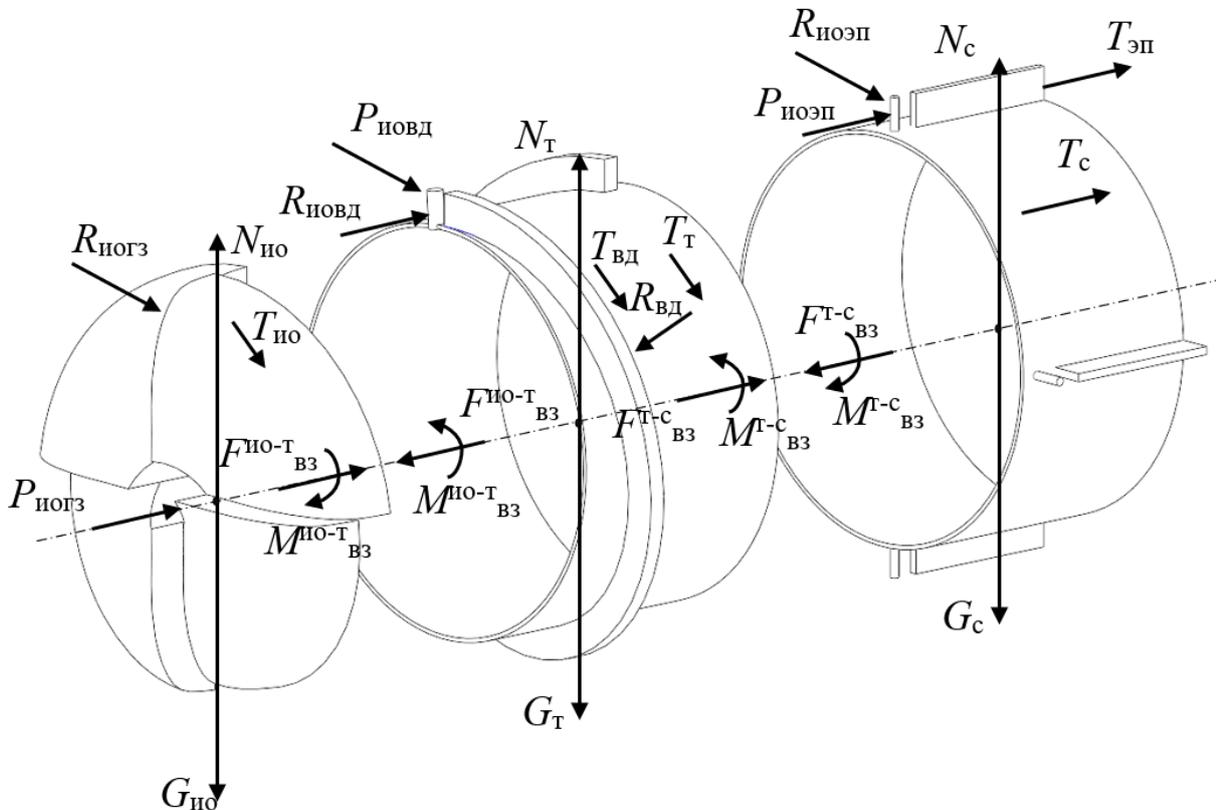


Рис. 2. Схема сил, действующих на системы геохода при его движении в геосреде
 Fig. 2. Diagram of the forces acting on the geokhod systems during its movement in the geo environment

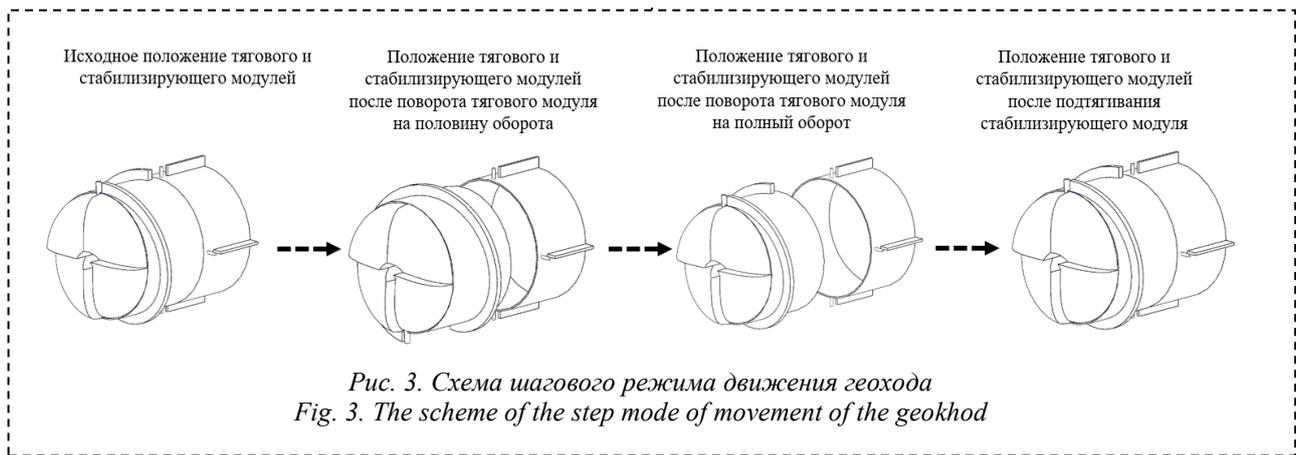


Рис. 3. Схема шагового режима движения геохода
 Fig. 3. The scheme of the step mode of movement of the geokhod

органами, сумму сопротивлений геосреды движению элементов, взаимодействующих с геосредой от сил трения, а также сопротивление отбитой горной массы движению геохода.

$$F_t - \sum F_{\text{ио}} - \sum F_{\text{тр}} - P_{\text{о}}^{\text{пор}} = m \cdot a \quad (7)$$

где $\sum F_{\text{ио}}$ – сумма сопротивлений геосреды движению исполнительным органам, Н;
 $\sum F_{\text{тр}}$ – сумма сопротивлений геосреды движению элементов, взаимодействующих с геосредой, от сил трения, Н;
 $P_{\text{о}}^{\text{пор}}$ – сопротивление отбитой горной массы движению геохода, Н.

Вращающий момент должен превышать сумму моментов сопротивления геосреды движению исполнительным органам, сумму моментов сопротивления геосреды движению вращающихся элементов геохода, взаимодействующих с геосредой от сил трения, а также момент сопротивления отбитой горной массы движению геохода.

$$M_{\text{вр}} - \sum M_{\text{ио}} - \sum M_{\text{тр}} - M_{\text{пор}} = J \cdot \varepsilon \quad (8)$$

где $\sum M_{\text{ио}}$ – сумма моментов сопротивления геосреды движению исполнительным органам, Н·м;
 $\sum M_{\text{тр}}$ – сумма моментов сопротивления геосреды движению вращающихся элементов геохода, взаимодействующих с геосредой, от сил трения, Н·м;
 $M_{\text{пор}}$ – момент сопротивления отбитой горной массы движению геохода, Н·м.

При схеме шагового режима движения геохода сумма сопротивлений геосреды движению исполнительным органам, сумма сопротивлений геосреды движению элементов, взаимодействующих с геосредой от сил трения, сумма моментов сопротивления геосреды движению исполнительным органам и сумма моментов сопротивления геосреды движению вращающихся элементов геохода, взаимодействующих с геосредой от сил трения, будут определяться по выражениям (9), (10), (11) и (12) соответственно.

$$\sum F_{\text{ио}} = P_{\text{оноз}} + P_{\text{онвд}} \quad (9)$$

$$\sum F_{\text{тр}} = T_t + T_{\text{вд}} \quad (10)$$

$$\sum M_{\text{ио}} = M_{\text{ио}} + M_{\text{ио}}^{\text{вд}} \quad (11)$$

где $M_{\text{ио}}$ – момент сопротивления геосреды движению исполнительного органа главного забоя, Н·м;
 $M_{\text{ио}}^{\text{вд}}$ – момент сопротивления геосреды движению исполнительного органа ВД, Н·м.

$$\sum M_{\text{тр}} = M_{\text{вд}} + M_{\text{тяг}} \quad (12)$$

где $M_{\text{вд}}$ – момент сопротивления геосреды движению ВД от сил трения, Н·м;
 $M_{\text{тяг}}$ – момент сопротивления геосреды движению ТМ от сил трения, Н·м.

В случае движения геохода в геосреде в шаговом режиме необходимо дополнительно создавать усилие, подтягивая СМ к ТМ, которое будет определяться из выражения

$$\sum F_{\text{подтяг}} = P_{\text{онзп}} + T_c + T_{\text{эп}} \quad (13)$$

Выводы

Установлено, что при шаговом режиме движения возникает дополнительное усилие подтягивания СМ к ТМ. Полученные выражения позволяют определить силовые параметры геохода при шаговом режиме движения в геосреде. Полученные зависимости учитывают особенности шагового режима движения и позволяют вести дальнейшие исследования, направленные на уменьшение силовых параметров геохода при его работе.

Для проведения дальнейших исследовательских работ необходимо:

- определить влияние режимов движения геохода на его силовые и энергетические параметры;
- определить влияние параметров геохода и геосреды на силовые и энергетические параметры при шаговом режиме движения геохода в геосреде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коперчук А. В., Казанцев А. А., Бегляков В. Ю., Филонов В. В. Обоснование необходимости разработки стартового устройства геохода // Технологии и материалы. 2015. № 1. С. 29–30.
2. Ефременков А. Б. Разработка научных основ создания систем геохода: специальность 05.05.06 "Горные машины": диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Ефременков Андрей Борисович. Кемерово, 2016. 314 с.
3. Бегляков В. Ю. Обоснование параметров поверхности взаимодействия исполнительного органа геохода с породой забоя: специальность 05.05.06 "Горные машины": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Бегляков Вячеслав Юрьевич. Юрга, 2012. 139 с.

4. Аксенов В. В., Казанцев А. А., Пашков Д. А. Геоходная технология строительства подземных выработок: необходимость создания // Горная промышленность. 2023. № S2. С. 83–89. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-S2-83-89.
5. Садовец В. Ю., Садовец Р. В., Рязанова Е. В. Разработка параметрической модели контура режущей кромки ножа исполнительного органа геохода // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2023. № 1. С. 16–24. DOI: 10.21440/0536-1028-2023-1-16-24.
6. Козлов И. В., Садовец В. Ю., Садовец Р. В., Разработка методики построения твердотельной модели тела ножевого исполнительного органа геохода // Техника и технология горного дела. 2022. № 2(17). С. 67–86. DOI: 10.26730/2618-7434-2022-2-67-86.
7. Аксенов В. В., Садовец В. Ю., Бегляков В. Ю. Синтез конструктивных решений исполнительных органов геоходов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № S3. С. 49–54.
8. Chen S.L. Three dimensional analysis of earth pressure balance (EPB) shield tunneling in soft bedrock // Proc. of the Seventh Intl. Conf. on Advances in Civil, Structural and Mechanical Engineering – CSM. 2018. DOI: 10.15224/978-1-63248-163-4-18.
9. Dziuban B., Ling H. I., Li L. Failure mechanisms of shallow tunnel in sandy ground // Transp. Infrastructure. Geotech. 2018. № 5. Pp. 318–331. DOI: 10.1007/s40515-018-0062-1.
10. Bewick R. The Strength of Massive to Moderately Jointed Rock and its Application to Cave Mining. 2020. DOI: 10.13140/RG.2.2.30960.99848.
11. Bewick R.P., Elmo D. Size effect and rock mass strength // Canadian Geotechnical Journal. 2025. № 62. Pp. 1–18. DOI: 10.1139/cgj-2024-0531.
12. Šancer J., Petroš V., Hudeček V., Zapletal P. Strength and Deformation of Pillars during Mining in the Shaft Pillar // Applied Sciences. 2024. №14(12). 5003. DOI: 10.3390/app14125003.
13. Lee C. J., Jeon Y. J., Kim S. H., Park I. J. The influence of tunneling on pre-existing piled foundation in weathered soil // Geom. and Eng. J. 2016. № 11(4). Pp. 553–570. DOI: 10.12989/gae.2016.11.4.553.
14. Raid R. A., Madhat S. A., Osamah I. A. Effect of Tunnel Progress on the Settlement of Existing Piled Foundation // Studia Geot. et Mech. 2019. № 41(2). Pp. 102–113 (2019). <https://doi.org/10.2478/sgem-2019-0008>.
15. Waad A. Z., Qasim A. M., Halah H. M. Prediction of stresses and settlement for TBM tunnel surrounding soil // Diyala J. of Eng. Sci. 2019. № 12(4). Pp. 50–59. DOI: 10.26367/DJES/VOL.12/NO.4/5.
16. Khoreshok A., Ananyev K., Ermakov A., Babarykin A. Estimation of the Overall Dimensions of the Outer Elements of Geokhod // E3S Web of Conferences: IVth International Innovative Mining Symposium. 2019. Vol. 105. P. 03007. DOI: 10.1051/e3sconf/201910503007.
17. Blaschuk M. Yu., Dronov A. A., Ganovichev S. S. Calculation of Free Interior Dimensions in Geokhod Transmission with Hydraulic Cylinders // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. P. 012033. DOI: 10.1088/1757-899X/127/1/012033.
18. Blaschuk M. Yu., Dronov A. A., Ganovichev S. S. Calculation of geometrical parameters of geokhod transmission with hydraulic cylinders // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: electronic edition. National Research Tomsk Polytechnic University. 2016. Vol. 142. P. 12128. DOI: 10.1088/1757-899X/142/1/012128.

© 2025 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:

Аксенов Владимир Валерьевич – доктор технических наук, главный научный сотрудник, г. Кемерово, Российская Федерация, Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН, главный научный сотрудник НЦЦТ, г. Кемерово, Российская Федерация, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева; e-mail: 55vva42@mail.ru

Маметьев Леонид Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, г. Кемерово, Российская Федерация, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева;

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

Заявленный вклад авторов:

Попов Иван Петрович – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных.

Аксенов Владимир Валерьевич – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, написание текста.

Маметьев Леонид Евгеньевич – 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: 10.26730/1816-4528-2025-4-69-75

Vladimir V. Aksenov^{1,2}, Leonid E. Mametyev², 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

GEOKHOD POWER PARAMETERS IN STEP MODE

Abstract.

The article presents dependencies for determining the power parameters of a geohod in a step-by-step mode of motion. The prospects of the geohod technology of mining are noted. A distinctive feature of geohopping technology is given. It is concluded that in all mining equipment, its weight is increased to increase effort. The basic element of geohod technology (Geohod) uses a geo-environment to generate traction and pressure forces, which leads to the absence of the influence of machine weight on traction and pressure forces. It is noted that the change in rock strength during mining has a negative effect on the creation of pressure and traction forces. Energy consumption increases due to the fact that with a slight presence of strong rocks in rocks of medium or soft strength, most of the time a fairly powerful mining machine creates forces, as when sinking workings in strong rocks. Under the same conditions, a machine designed for digging workings in medium-strength rocks, encountering a strong rock on the way, may not create the necessary traction and pressure forces to destroy it at all. In the case of mining with a geohod, it is possible to reduce the power parameters by changing the mode of movement of the geohod from combined to stepper. The purpose of the work is to determine the power parameters during the step mode of movement of the geohod in the geo environment. A mathematical model of the movement of a geo-walker in a geo-environment in step mode has been developed. A diagram of the forces acting on the geohod's systems during its movement in the geo-environment and the names of these forces is presented. It is established that in the step mode of movement, an additional force is exerted to pull the stabilizing module towards the traction module. The expressions obtained make it possible to determine the power parameters of a geohod in a step-by-step mode of movement in a geo-environment.



Article info

Received:

31 May 2025

Accepted for publication:

30 June 2025

Accepted:

01 August 2025

Published:

28 August 2025

Keywords: sinking, mining, geohod, geohod technology, geomedia, driving modes

For citation: Aksenov V.V., Mametyev L.E., Pashkov D.A. Geokhod power parameters in step mode. Mining Equipment and Electromechanics, 2025; 4(180):69-75 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2025-4-69-75, EDN: SSBYHZ

REFERENCES

1. Koperchuk A.V., Kazantsev A. A., Beglyakov V.Yu., Filonov V.V. Substantiation of the need to develop a geohod launch device. *Technologies and Materials*. 2015; 1:29–30.

2. Efremkov A.B. Development of scientific foundations for the creation of geohod systems: specialty 05.05.06 "Mining machines": dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Efremkov Andrey Borisovich. Kemerovo, 2016. 314 p. (in Russian)

3. Beglyakov V.Y. Substantiation of the parameters of the interaction surface of the executive body of the geohod with the face rock : specialty 05.05.06 "Mining machines" : dissertation for the degree of candidate of technical Sciences / Beglyakov Vyacheslav Yuryevich. Yurga, 2012. 139 p.

4. Aksenov V.V., Kazantsev A.A., Pashkov D.A. Geohod technology for the construction of underground workings: the need to create. *Mining industry*. 2023; S2:83–89. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-S2-83-89.

5. Sadovets V.Yu., Sadovets R.V., Rezanova E.V. Development of a parametric model of the contour of the cutting edge of the knife of the executive body of the geohod. *News of higher educational institutions. Mining Journal*. 2023; 1:16–24. DOI: 10.21440/0536-1028-2023-1-16-24.

6. Kozlov I.V., Sadovets V.Yu., Sadovets R.V. Development of a methodology for constructing a solid-state model of the body of a knife executive body of a geohod. *Mining engineering and technology*. 2022; 2(17):67–86. DOI: 10.26730/2618-7434-2022-2-67-86.

7. 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.

8. Chen S.L. Three dimensional analysis of earth pressure balance (EPB) shield tunneling in soft bedrock. *Proc. of the Seventh Intl. Conf. on Advances in Civil, Structural and Mechanical Engineering – CSM*. 2018. DOI: 10.15224/978-1-63248-163-4-18.

9. Dziuban B., Ling H.I., Li L. Failure mechanisms of shallow tunnel in sandy ground. *Transp. Infrastructure. Geotech.* 2018; 5:318–331. DOI: 10.1007/s40515-018-0062-1.

10. Bewick R. The Strength of Massive to Moderately Jointed Rock and its Application to Cave Mining. 2020. DOI: 10.13140/RG.2.2.30960.99848.

11. Bewick R.P., Elmo D. Size effect and rock mass strength. *Canadian Geotechnical Journal*. 2025; 62:1-18. DOI: 10.1139/cgj-2024-0531.

12. Šancer J., Petroš V., Hudeček V., Zapletal P. Strength and Deformation of Pillars during Mining in

the Shaft Pillar. *Applied Sciences*. 2024; 14(12):5003. DOI: 10.3390/app14125003.

13. Lee C.J., Jeon Y.J., Kim S.H., Park I.J. The influence of tunneling on pre-existing piled foundation in weathered soil. *Geom. and Eng. J.* 2016; 11(4):553–570. DOI: 10.12989/gae.2016.11.4.553.

14. Raid R.A., Madhat S.A., Osamah I.A. Effect of Tunnel Progress on the Settlement of Existing Piled Foundation. *Studia Geot. et Mech.* 2019; 41(2):102–113. DOI: 10.2478/sgem-2019-0008.

15. Waad A.Z., Qasim A.M., Halah H.M. Prediction of stresses and settlement for TBM tunnel surrounding soil. *Diyala J. of Eng. Sci.* 2019; 12(4):50–59. DOI: 10.26367/DJES/VOL.12/NO.4/5.

16. Khoreshok A., Ananyev K., Ermakov A., Babarykin A. Estimation of the Overall Dimensions of the Outer Elements of Geokhod. *E3S Web of Conferences: IVth International Innovative Mining Symposium*. 2019; 105:03007. DOI: 10.1051/e3sconf/201910503007.

17. Blaschuk M.Yu. Dronov A.A., Ganovichev S.S. Calculation of Free Interior Dimensions in Geohod Transmission with Hydraulic Cylinders. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016. P. 012033. DOI: 10.1088/1757-899X/127/1/012033.

18. Blaschuk M.Yu., Dronov A.A., Ganovichev S.S. Calculation of geometric parameters of geohod transmission with hydraulic cylinders. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: electronic edition*. National Research Tomsk Polytechnic University. 2016; 142:12128. DOI: 10.1088/1757-899X/142/1/012128.

© 2025 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:

Vladimir V. Aksenov – Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, Kemerovo, Russian Federation, Institute of Coal of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher of the Scientific Research Center, Kemerovo, Russian Federation, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University; e-mail: 55vva42@mail.ru

Leonid E. Mametyev – Doctor of Technical Sciences, 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:

Vladimir V. Aksenov – setting a research task, conceptualizing research, writing a text.

Leonid E. Mametyev – 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.

