



ОБОСНОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПРИКЛАДЫВАЕМЫХ К ЗАБОЮ НАГРУЗОК ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНСТРУМЕНТА И ПОРОДЫ

Аксенов В.В.¹, Садовец В.Ю.^{1,2}, Пашков Д.А.¹

¹ Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской Академии Наук

² Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета

Аннотация.

В статье обосновываются величины нагрузок, прикладываемых к забою при моделировании взаимодействия инструмента и породы. Представлен анализ существующих исполнительных органов, применяемых в горном деле, строительном и коммунальном хозяйстве. Предложен подход решения прикладной задачи методом конечных элементов. В частности, проведено исследование о возможности замены нагрузки, имитирующей взаимодействие породы с каждым резцом исполнительного органа, с учетом схемы набора и угла поворота исполнительного органа относительно своей оси. Действующая нагрузка представлена в виде эквивалентных распределенных нормальных и касательных нагрузок, приложенных к поверхности контакта инструмента с забоем. Для постановки цели и задач исследования обосновано суммарное силовое воздействие исполнительного органа на массив горных пород. Определены параметры, от которых зависит суммарное силовое воздействие исполнительного органа. Касательная проекция эквивалентной распределенной нагрузки обеспечивается мощностью двигателя, а нормальная – напорным усилием на исполнительном органе. Для определения конкретных значений распределенных нагрузок за прототип принята баровая установка ЭТЦ-2086, монтируемая на базе трактора МТЗ-82. На основании проведенного исследования определены значения эквивалентных распределенных нормальной и касательной нагрузок, необходимых для разработки модели взаимодействия инструмента исполнительного органа геохода с горной породой.

Информация о статье

Принята 16 марта 2018 г.

Ключевые слова: забой, геоход, режущий инструмент, моделирование, метод конечных элементов

JUSTIFICATION OF VALUE OF THE LOAD APPLIED TO THE FACE FOR SIMULATION OF TOOLS AND ROCKS INTERACTION

Vladimir V. Aksenov, Vladimir Yu. Sadovets, Dmitry A. Pashkov

¹ Federal Research Center of Coal and Coal chemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences

² Yurga Technological Institute (branch) of National Research Tomsk Polytechnic University

Abstract.

The article justifies the value of the loads applied to the face in modeling the interaction between the tool and the rock. The analysis of existing executive bodies, applied in mining, construction and municipal engineering, is presented. An approach to solving an applied problem by the finite element method is presented. In particular, a study was conducted on the possibility of replacing the load simulating the interaction of the rock with each cutter of the executive body, taking into account the dialing scheme and the angle of rotation of the executive body relative to its axis. The effective load is represented in the form of equivalent distributed normal and tangential



Article info

Received March 16, 2018

Keywords: face, geokhod, cutting tool, modeling, finite element method

loads applied to the tool contact surface with the face. To establish the purpose and objectives of the study, the total force effect of the executive body on the rock massif is justified. The parameters on which the total force influence of the executive body depends are determined. The tangential projection of the equivalent distributed load is provided by the engine power and the normal projection is provided by the head force on the executive body. To determine the specific values of distributed loads for the prototype, a bar setting ETC-2086, mounted on the base of MTZ-82 tractor, was adopted. Based on the study, the values of equivalent distributed normal and tangential loads are determined for the development of a model for interaction between the tool of the executive body of the geokhod and the rock.

Введение. В России и в странах мирового сообщества с увеличением площади городов и ухудшения экологической обстановки отмечается повышенный интерес к освоению подземного пространства [1, 2, 6].

Освоение подземного пространства, связанное на протяжении многих веков с добычей полезных ископаемых и со строительством подземных сооружений различного назначения, всегда базировалось на технологии проведения выработок.

Существующие горнопроходческие системы и технологии проведения горных выработок не соответствуют задачам, возникающим при освоении подземного пространства [3, 4].

Перспективным направлением развития технологий образования полости в подземном пространстве является применение геоходной технологии, базовым элементом которой является геоход. В настоящее время создан опытный образец геохода с исполнительным органом барабанного типа, предназначенный для разрушения пород средней крепости (рисунок 1) [5, 7].



Рис. 1. Опытный образец геохода с барабанным исполнительным органом

На существующем этапе разработки элементов геоходной технологии остро стоит необходимость разработки конструктивных и технических решений исполнительных органов, способных проводить образование полости в подземном пространстве по породам крепостью до 1 по шкале М.М. Протодьяконова [8, 9].



В работах [10, 11] проведен анализ существующих исполнительных органов применяемых в горном деле, строительном и коммунальном хозяйстве. Определены достоинства и недостатки представленных исполнительных органов, а также сделан вывод, что применение баровых исполнительных органов для разрушения пород крепостью до 1 по шкале Протодьяконова в геоходной технологии является перспективной и актуальной задачей.

Сдерживающим фактором применения геоходов для образования полости в подземном пространстве по породам крепостью до 1, является отсутствие обоснованных технических и конструктивных решений, методик расчета и проектирования баровых исполнительных органов для разрушения мягких пород [10].

Поэтому работы, направленные на обоснование схемных решений и силовых параметров баровых исполнительных органов (ИО) геоходов для разрушения мягких пород являются актуальными.

Метод конечных элементов. Для оценки влияния геометрических параметров ИО на условия его работы необходимо решать сложные задачи контактных взаимодействий упругих тел. Для решения контактных задач успешно применяется метод конечных элементов, существуют программные средства для автоматизации решения контактных задач с применением метода конечных элементов [12, 13].

При моделировании взаимодействия многорезцового инструмента с забоем можно приложить к модели нагрузку, имитирующую взаимодействие породы с каждым резцом исполнительного органа с учетом схемы набора и угла поворота исполнительного органа относительно своей оси. Для таких исполнительных органов, как барабан, коронка, шнек или бар, это дает представление об НДС в породе забоя только для одного положения (угла поворота) исполнительного органа и только для одной схемы набора.

Если представить суммарную нагрузку от всех резцов исполнительного органа, как эквивалентные распределенные нормальную и касательную нагрузки, приложенные к поверхности контакта инструмента с забоем, то такая нагрузка в равной степени будет соответствовать любому положению исполнительного органа и любой схеме набора.

В работах [10-13] приведено сравнение результатов моделирования (рис. 2). При моделировании определялись зависимости главных напряжений σ_3 от расстояния H до поверхности в зоне контакта центрального резца. Результаты показали, что суммарная нагрузка от всех резцов оказывает влияние, сходное с влиянием от эквивалентной распределенной нагрузки.

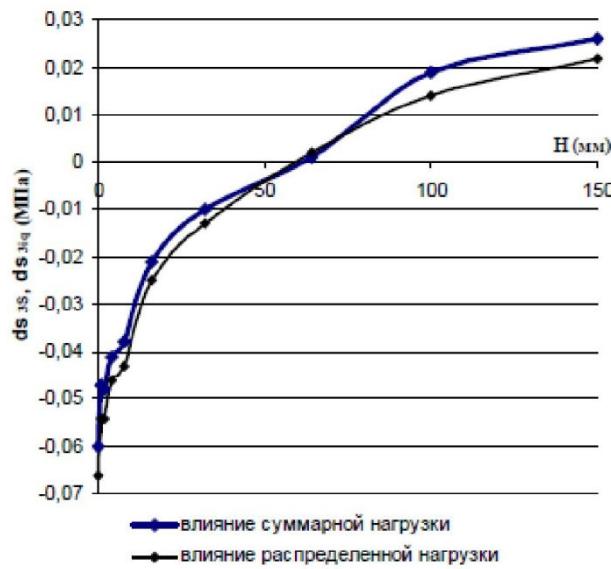


Рис. 2. Влияние суммарной и распределенной нагрузок

Из данного исследования можно сделать следующий вывод:

- влияние распределенных нагрузок может быть использовано как инструмент при математическом моделировании взаимодействия исполнительного органа с горной породой.



Методика исследования. На рисунке 3 показана схема суммарного силового взаимодействия барового органа с породой.

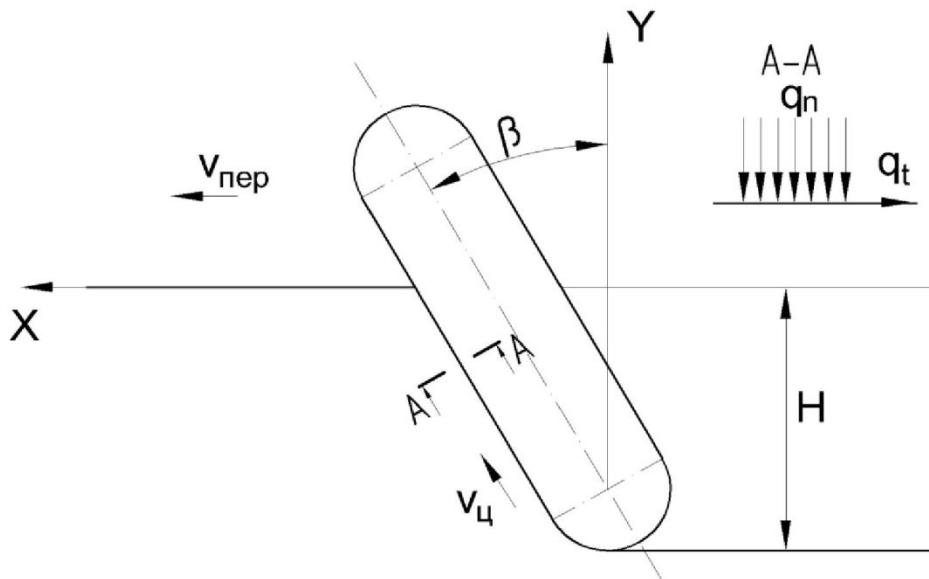


Рис. 3. Схема суммарного силового воздействия барового органа на породу

Значение сил резания зависит от типа и размеров разрушающего элемента, режимов резания, свойств породы и ряда других факторов, но суммарное воздействие исполнительного органа определяется его энерговооруженностью [12,13]. Касательная проекция обеспечивается мощностью двигателя, а нормальная - напорным усилием.

У землеройных машин силовым агрегатом является двигатель, установленный на базовой машине. Таким образом, при проектировании данных машин учитывается мощность двигателя.

Мощность двигателя баровой машины должна быть больше суммы мощностей, затрачиваемых на привод рабочего органа, привод ходового устройства, на заглубление и подъем рабочего органа, преодоление подъемов и уклонов, данное условие называется балансом мощностей, которое выражается:

$$N = N_u + N_{nep} + N_k + N_u, \quad (1)$$

где N – мощность двигателя (Вт), N_u – мощность, приходящая на ИО (Вт), N_{nep} – мощность, приходящая на привод ходового устройства (Вт), N_k – мощность привода конвейера (Вт), N_u – мощность привода гидронасоса (Вт).

Примем допущения, что вся мощность двигателя приходится на ИО, т.к. остальные составляющие уравнения баланса мощностей принимают малые значения. Следовательно, уравнение (1) примет вид:

$$N = N_u. \quad (2)$$

Мощность привода цепи:

$$N_u = v_{nep} P_{pes}, \quad (3)$$

где v_{nep} – скорость передвижения машины в рабочем режиме (м/с), P_{pes} – касательная сила резания на весь ИО (Н).

Касательная сила резания с учетом распределенной нагрузки примет вид:

$$P_{pes} = S q_t, \quad (4)$$

где S – площадь щели (м^2), q_t – касательная распределенная нагрузка (Па).

После подстановки (3) и (4) в выражение (2) получим



$$N = v_{nep} S q_t. \quad (5)$$

Из выражения (5) найдем касательную распределенную нагрузку:

$$q_t = \frac{N}{v_{nep} S}. \quad (6)$$

Усилие подачи [13]:

$$X = \frac{N_u \eta_u \cos \alpha}{v_u}, \quad (7)$$

где X – горизонтальная составляющая сопротивления копанию (Н), v_u – скорость движения цепи (м/с), η_u – К.П.Д. цепного ИО, α – угол наклона траектории режущей кромки резца (град).

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_u \sin \beta}{v_u \cos \beta + \frac{v_{nep}}{3600}}, \quad (8)$$

где β – угол наклона бара к вертикали (град).

Усилие подачи согласно рис. 4 находится по формуле [13]:

$$X = P_{pes} \sin \beta + P_n \cos \beta, \quad (9)$$

где P_n – нормальная сила резания на весь ИО (Н).

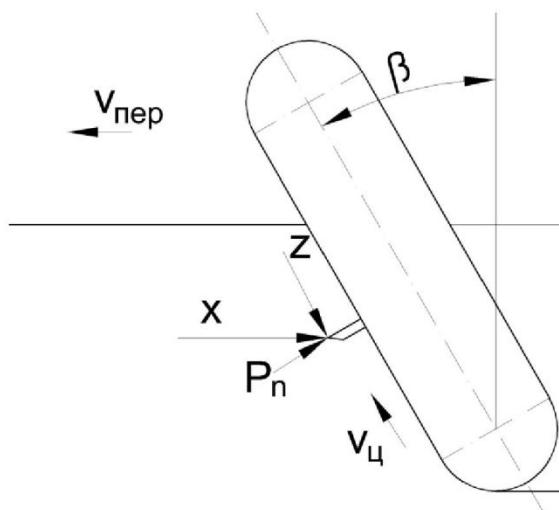


Рис. 4. Схема силового взаимодействия резца и породы

Нормальная сила резания на весь ИО с учетом распределенной нагрузки примет вид:

$$P_n = S q_n, \quad (10)$$

где q_n – нормальная распределенная нагрузка (Па).

Приравняв выражения (7) и (9), получим:

$$\frac{N_u \eta_u \cos \alpha}{v_u} = P_{pes} \sin \beta + P_n \cos \beta. \quad (11)$$



После подстановки выражений (2), (4) и (10) в (11) и упрощений, найдем нормальную распределенную нагрузку:

$$q_n = q_t \left(\frac{v_{nep} \eta_u \cos \alpha}{v_u \cos \beta} - \operatorname{tg} \beta \right). \quad (12)$$

Результаты. Для определения величин распределенных нагрузок возьмем за прототип базовую установку ЭТЦ-2086 установленную на базе трактора МТЗ-82, имеющую следующие параметры:

Мощность двигателя, кВт (л.с.)	60 (81)
Ширина прорезаемой щели, мм	140
Глубина прорезаемой щели, м	1,6
Рабочая скорость передвижения, м/с	0,525
Скорость режущей цепи, м/с	0,69
Угол наклона бара к вертикали, град	25

Подставив параметры исполнительного органа в (6) и (12), получим значения распределенных нагрузок:

$$q_t = \frac{60000}{0,525 \cdot 0,14 \cdot 1,6} = 5,1 \times 10^5 \text{ Па}$$

$$q_n = 5,1 \times 10^5 \left(\frac{0,525 \cdot 0,7 \cdot \cos 15,8}{0,69 \cdot \cos 25} - \operatorname{tg} 25 \right) = 5,1 \times 10^4 \text{ Па}$$

Выводы.

Из выражений (6) и (12) видно, что на тангенциальную распределенную нагрузку влияет не только мощность, приходящая на ИО, но и размеры самой нарезаемой щели и скорость передвижения машины. Нормальная распределенная нагрузка зависит не только от тангенциальной распределенной нагрузки, но и от скорости цепи и от угла наклона бара к вертикалам.

Для проведения дальнейших исследований необходимо:

- определить рациональные размеры породного массива, которые создадут модель, близкую к реальному массиву;
- обосновать плотность сетки конечных элементов;
- обосновать, используя метод конечных элементов, рациональную форму направляющей барового исполнительного органа.

Список источников

1. Беннет, Д. Метро: история подземных железных дорог / Пер. с англ. – М.: Мagma, 2005. – 176 с.
2. Maidl, B. Hardrock Tunnel Boring Machines / B. Maidl, L. Schmid, W. Ritz, M. Herrenknecht. Berlin: Ernst & Sohn, 2008. – 343 p.
3. Sadovets V.Y., Beglyakov V.Y., Aksenov V.V., IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., 91, 012085 (2015)
4. Ананьев К.А. Создание исполнительного органа геохода для разрушения пород средней крепости. Дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2016. – 145 с.
5. Садовец, В.Ю. Ножевые исполнительные органы геоходов: монография / В.Ю. Садовец, В.В. Аксенов // LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH. Saarbrücken, Germany. 2011. – 141 с.



6. S.A. Zhironkin, A.A. Khoreshok, M.A. Tyulenev, G.A. Barysheva, M.C. Hellmer. Economic and Technological Role of Kuzbass Industry in the Implementation of National Energy Strategy of Russian Federation. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 142, 012127 (2016)
7. 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. T. 15. C. 03015.
8. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Пашков Д.А. Обоснование необходимости создания исполнительного органа геохода для разрушения пород малой крепости // Вестник КузГТУ. – 2016. – №6. – С. 8-14.
9. Chernukhin R.V., Blaschuk M.Y., Blumenstein V.Yu., Chazov P.A., IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., 142, 012003 (2016).
10. Бегляков, В.Ю. Обоснование параметров поверхности взаимодействия исполнительного органа геохода с породой забоя. Дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2012. – 139 с.
11. Blaschuk M.Y., Dronov A.A., Ganovichev S.S., IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., 127, 012033 (2016)
12. Chernukhin R.V., Dronov A.A., Blashchuk M.Y., IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 91, 012086 (2015)
13. Аксенов, В.В. Использование параметров поверхности взаимодействия исполнительного органа геохода с породой забоя для формирования исходных данных к проектированию разрушающего модуля / В.В. Аксенов, К.А. Ананьев, В.Ю. Бегляков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № ОВ2. – С. 56-62.

References

1. Bennet, D. Metro: istoriya podzemnykh zheleznykh dorog / Per. s angl. – M.: Magma, 2005. – 176 s.
2. Maidl, B. Hardrock Tunnel Boring Machines / B. Maidl, L. Schmid, W. Ritz, M. Herrenknecht. Berlin: Ernst&Sohn, 2008. – 343 p.
3. Sadovets V.Y., Beglyakov V.Y., Aksenov V.V., IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., 91, 012085 (2015)
4. Anan'ev K.A. Sozdanie ispolnitel'nogo organa geokhoda dlya razrusheniya porod sredney kreposti. Dis. ... kand. tekhn. nauk. – Kemerovo, 2016. – 145 s.
5. Sadovets, V.Yu. Nozhevye ispolnitel'nye organy geokhodov: monografiya / V.Yu. Sadovets, V.V. Aksenov // LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH. Saarbrücken, Germany. 2011. – 141 s.
6. S.A. Zhironkin, A.A. Khoreshok, M.A. Tyulenev, G.A. Barysheva, M.C. Hellmer. Economic and Technological Role of Kuzbass Industry in the Implementation of National Energy Strategy of Russian Federation. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 142, 012127 (2016)
7. 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. T. 15. S. 03015.
8. Aksenov V.V., Sadovets V.Yu., Pashkov D.A. Obosnovanie neobkhodimosti sozdaniya ispolnitel'-nogo organa geokhoda dlya razrusheniya porod maloy kreposti // Vestnik KuzGTU. - 2016. - №6. - С. 8-14.
9. Chernukhin R.V., Blaschuk M.Y., Blumenstein V.Yu., Chazov P.A., IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., 142, 012003 (2016).
10. Beglyakov, V.Yu. Obosnovanie parametrov poverkhnosti vzaimodeystviya ispolnitel'nogo organa geokhoda s porodoy zaboya. Dis. ... kand. tekhn. nauk. – Kemerovo, 2012. – 139 s.
11. Blaschuk M.Y., Dronov A.A., Ganovichev S.S., IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., 127, 012033 (2016)
12. Chernukhin R.V., Dronov A.A., Blashchuk M.Y., IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 91, 012086 (2015)
13. Аксенов, В.В. Ispol'zovanie parametrov poverkhnosti vzaimodeystviya ispolnitel'nogo organa geokhoda s porodoy забоя для формирования исходных данных к проектированию разрушающего модуля / В.В. Аксенов, К.А. Ананьев, В.Ю. Бегляков // Горный информационно-аналитический бюллетень'. – 2012. – № ОВ2. – С. 56-62.



Авторы

Аксенов Владимир Валерьевич¹ - доктор техн. наук, заведующий лабораторией подземной робототехники

e-mail: 55vva42@mail.ru

Садовец Владимир Юрьевич^{1,2} - кандидат техн. наук, доцент

e-mail: vsadovec@yandex.ru

Пашков Дмитрий Алексеевич¹ - аспирант,
e-mail: pashkov.d.a@inbox.ru

¹ Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, 650065, Россия, г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10.

² Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета, 652055, Россия, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

Authors

Vladimir V. Aksenov¹ – Dr. Sc. (Tech.), Head of Mining Geotechnics Laboratory,
e-mail: 55vva42@mail.ru

Vladimir Yu. Sadovets^{1,2} – PhD (Tech.), Associated Prof.,

e-mail: vsadovec@yandex.ru

Dmitry A. Pashkov¹ – postgraduate,
e-mail: pashkov.d.a@inbox.ru

¹ Federal State Budget Scientific Institution "The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences", 650000, Russia, Kemerovo, 10 Leningradsky avenue.

² Yurga Technological Institute (branch) of National Research Tomsk Polytechnic University, 652055, Russian Federation, Yurga, 26 Leningradskaya str.

Библиографическое описание статьи

Аксенов В. В. Обоснование величины прикладываемых к забою нагрузок при моделировании взаимодействия инструмента и породы / В.В. Аксенов, В. Ю. Садовец, Д.А. Пашков // Техника и технология горного дела. – 2018. – № 1(1). – С. 12-19.

Cite this article

Aksenov V.V., Sadovets V.Yu., Pashkov D.A. (2018) Justification of value of the load applied to the face for simulation of tools and rocks interaction, *Journal of mining and geotechnical engineering*, 2018, 1(1):12.