УДК 622.23

Ермаков Александр Николаевич, директор Горного института, к.т.н., доцент
(КузГТУ, г. Кемерово)
Alexander N. Ermakov, Director of the Mining Institute, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
(KuzSTU, Kemerovo)

Ананьев Кирилл Алексеевич, заведующий кафедрой горных машин и комплексов, к.т.н., доцент
(КузГТУ, г. Кемерово)
Kirill A. Ananyev, Head of the Department of Mining Machines and Complexes, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
(KuzSTU, Kemerovo)

Пашков Дмитрий Алексеевич, старший научный сотрудник, к.т.н.
(КузГТУ, г. Кемерово)
(ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово)
Dmitry A. Pashkov, Senior research fellow, Candidate of Engineering Sciences
(KuzSTU, Kemerovo)
(FIC C&CC SB RAS, Kemerovo)

Мягких Илья Дмитриевич, аспирант.
(КузГТУ, г. Кемерово)
(ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово)
Ilya D. Myagkikh, Postgraduate Student
(KuzSTU, Kemerovo)
(FIC C&CC SB RAS, Kemerovo)

РАЦИОНАЛЬНЫЕ СХЕМЫ МАНЕВРИРОВАНИЯ ГЕОХОДА ПРИ ПРОХОДКЕ КРИВОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКОВ ТРАССЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАРАБАННЫХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ

RATIONAL SCHEMES OF GEOHEAD MANEUVERING DURING DRIVING OF CURVED SECTIONS OF THE ROUTE USING DRUM EXECUTIVE BODIES

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы создания уширений горной выработки при маневрировании геохода. Проанализированы три схемы поворота. Показано, что схема с двусторонним уширением

обеспечивает минимальные величины дополнительных выработок. Обоснована целесообразность применения барабанных исполнительных органов с выдвижением вдоль оси вращения.

Annotation: The article discusses the issues of creating widenings of the mine working during the maneuvering of the geohead. Three turning schemes are analyzed. It is shown that the scheme with bilateral widening provides minimal values of additional workings. The expediency of using drum executive bodies with extension along the axis of rotation is justified.

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. № 1023032000051-1-1.5.1;2.7.5).

В настоящее время ведутся работы по созданию нового класса проходческих систем – геоходов [1-4]. Основной отличительной особенностью геохода от других проходческих машин является принцип формирования напорных усилий на исполнительном органе и усилий перемещения [5-7].

В традиционных горнопроходческих системах восприятие реактивных усилий от забоя ложится на поверхность контакта опорных элементов горной машины со свободной полостью выработки. В геоходах напорные усилия формируются за счет взаимодействия внешнего движителя с приконтурным массивом, при этом лопасть внешнего движителя внедряется в образуемый специальным исполнительным органом в приконтурном массиве винтовой канал, и усилия перераспределяются на геосреду [8-11].

При проведении проходческих работ возникает задача изменения направления выработки – маневрирования [12-15]. Маневрирование геохода осуществляется за счёт создания уширений горной выработки. По месту положения уширений выделяются три возможные схемы [16]:

- схема №1 – с уширением по наружному радиусу (рисунок 1, а);
- схема №2 – с уширением по внутреннему радиусу (рисунок 1, б);
- схема №3 – с двусторонним уширением (рисунок 1, в).

Наиболее рациональной с точки зрения уменьшения величины уширений является схема с двусторонним уширением. В данном случае величина уширений в 3 – 5 раз меньше, чем при односторонних уширениях по наружному или внутреннему радиусам [17].

При реализации поворота по схеме №1 (с уширением по наружному радиусу) геоход начинает увеличение уширения до величины B между начальными сечениями траектории. Для данной схемы поворота уширение определяется выражением:

$$B_1 = \sqrt{\left(R_{\text{п}} + 0{,}5D_{\text{г}}\right)^2 + L_{\text{г}}^2} - R_{\text{п}} - 0{,}5D_{\text{г}}, \quad (1)$$

где $R_{\text{п}}$ – радиус поворота геохода, м;

B – величина уширения выработки, м;

$L_{\text{г}}$ – длина геохода, м;

$D_{\text{г}}$ – диаметр геохода, м.

При реализации поворота по схеме №2 (с уширением по внутреннему радиусу) уширение определяется по формуле:

$$B_2 = R_{\text{п}} - 0{,}5D_{\text{г}} - \sqrt{\left(R_{\text{п}} - 0{,}5D_{\text{г}}\right)^2 - L_{\text{г}}^2}\ . \quad (2)$$

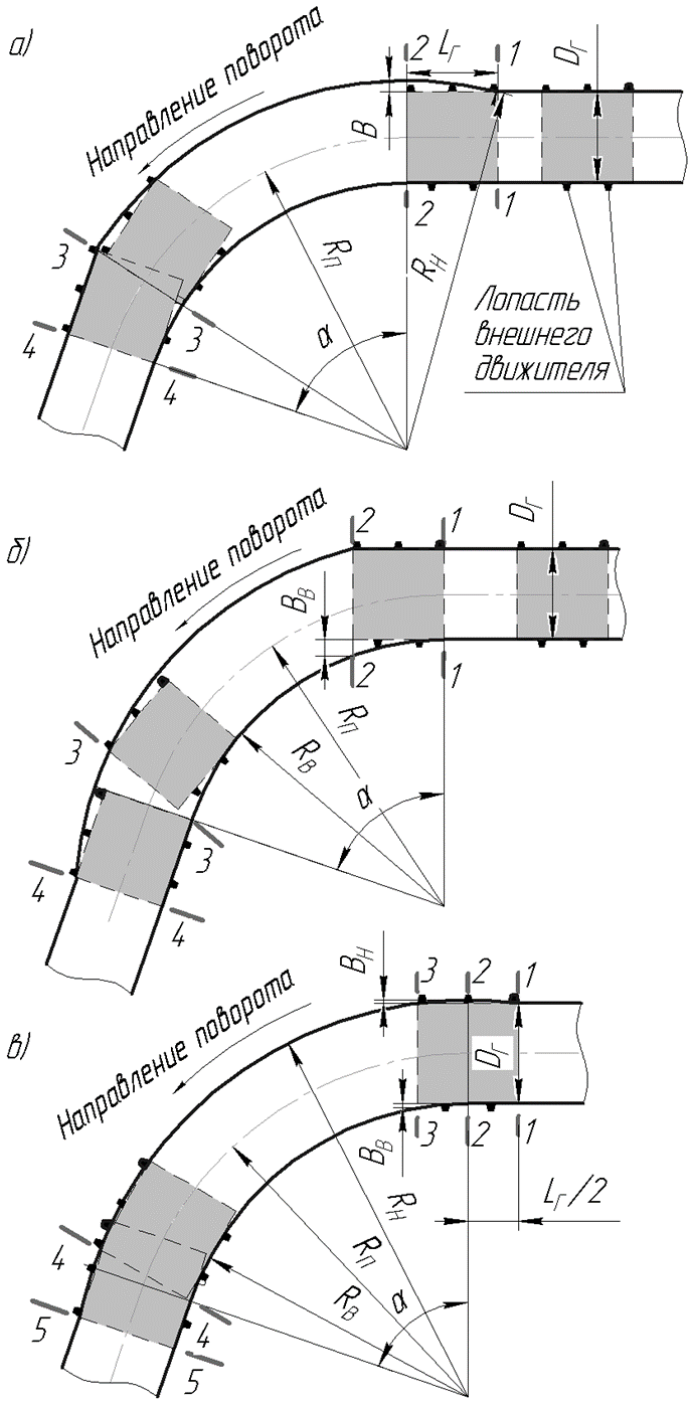
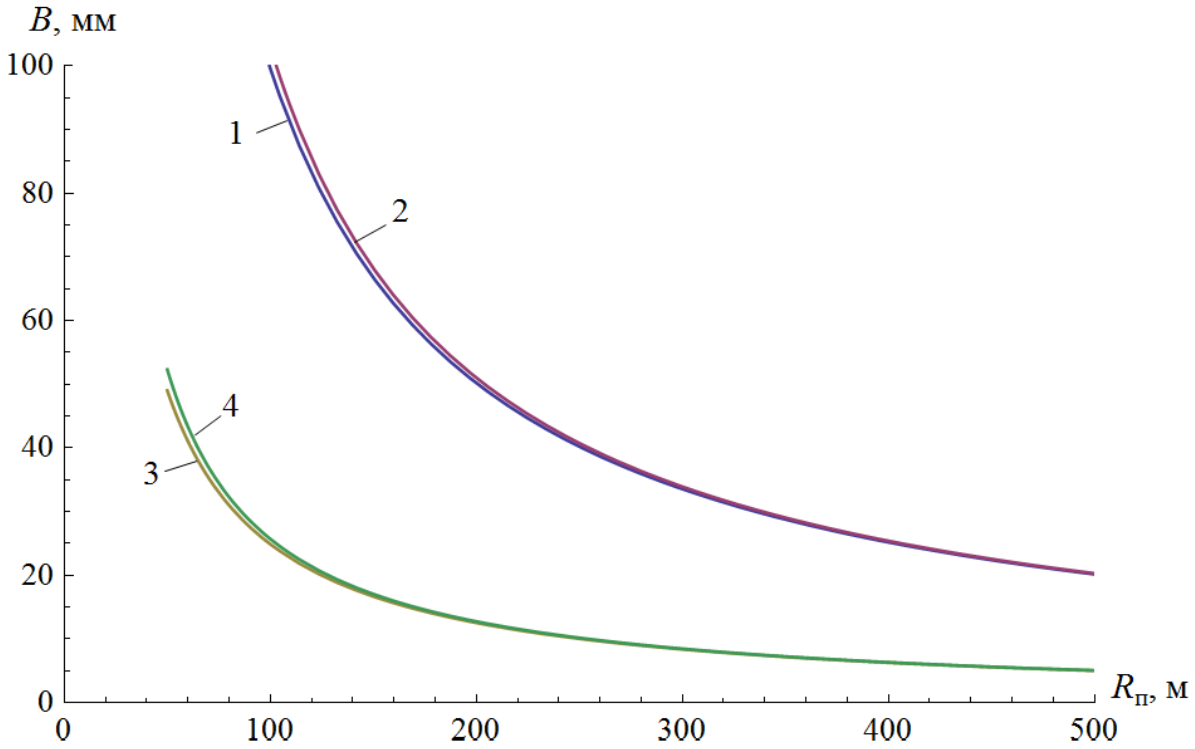


Рисунок 1 Схемы прохождения геоходом криволинейного участка



1 – уширение по схеме №1; 2 – уширение по схеме № 2; 3 – уширение по наружному радиусу по схеме № 3; 4 – уширение по внутреннему радиусу по схеме № 3

Рисунок 2 Графики зависимости уширения выработки от радиуса поворота

Полученные результаты показывают:

1. уширения выработки при прохождении криволинейных участков по схемам №1 и 2 практически одинаковы;

2. уширения выработки, получаемые при схемах №1 и 2 значительно больше уширений при схеме №3 – в диапазоне варьирования радиуса поворота $R_г$ от 50 до 1000 м $B_3 \approx B_4$ почти в 4 раза меньше, чем B_1 и B_2.

Исходя из полученных результатов очевидно, что реализация поворота по схеме №3 является наиболее рациональной. При такой схеме уменьшение площади контакта лопасти с массивом будет наименьшим. При этом в схемах №1 и 2 уширение сечения выработки приходится на одну из сторон поворота, тем самым существенно или полностью обнажая лопасть внешнего движителя. В схеме №3 обнажение лопасти перераспределяется между внутренней и внешней сторонами, что обеспечивает непрерывный контакт лопасти внешнего движителя с массивом при прохождении криволинейного участка выработки.

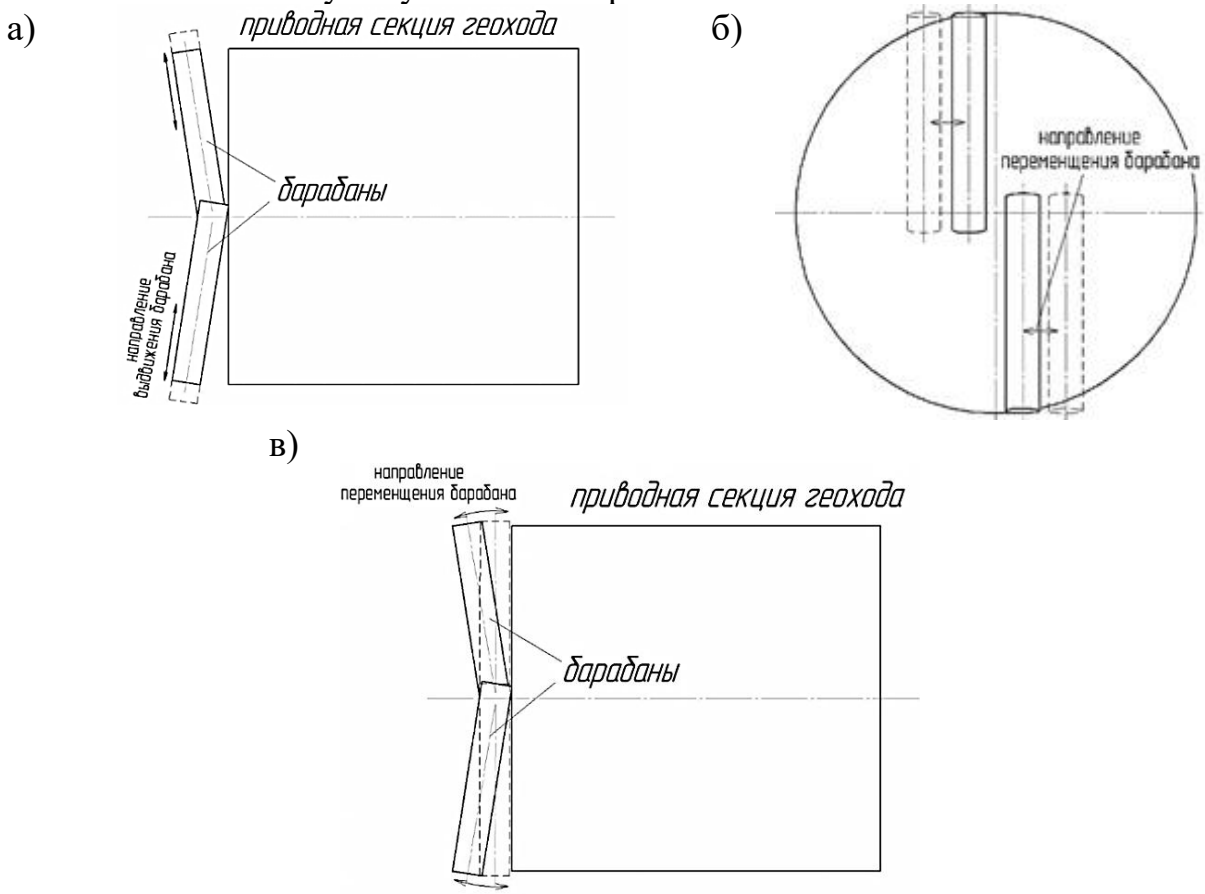
Одним из вариантов создания уширений является использование исполнительного органа разрушения главного забоя (ИОГЗ) Одним из требований к ИОГЗ геоходов является возможность их выхода за контур проводимой выработки. Это требование в полной мере удовлетворяется барабанными исполнительными органами [18].

Для барабанных исполнительных органов разработаны три принципиальных варианта выхода барабанов за контур выработки для создания уширений:

– выдвижение барабанов вдоль оси их вращения;

– изменение межосевого расстояния;

– изменение угла установки барабана относительно плоскости забоя.



а) – выдвижение барабанов вдоль оси их вращения; б) – изменение межосевого расстояния; в) – изменение угла установки барабана относительно плоскости забоя

Рисунок 3 – Варианты выхода барабанов за контур выработки

Применение схем с изменением межосевого расстояния и угла установки барабана приводит к изменению параметров резания породы рабочим инструментом, что снижает эффективность разрушения породы и приводит к повышенному расходу инструмента. При выдвижении барабанов вдоль оси их вращения параметры резания остаются постоянными. Тем самым данный вариант является наиболее рациональным из предложенных.

Таким образом, для обеспечения маневрирования геохода на криволинейных участках трассы наиболее рациональной является схема с двусторонним уширением выработки, реализуемая посредством барабанных исполнительных органов с механизмом осевого выдвижения.

Список литературы

1. Геодинамика проходческих подземных аппаратов. Геосреда, форма и поверхности / В. В. Аксенов, А. А. Хорешок, В. Ю. Бегляков, Д. А. Пашков

// Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – № 3(155). – С. 39-47. – DOI 10.26730/1816-4528-2021-3-39-47. – EDN ZVEVRT.

2. Аксенов, В. В. Геоходная технология строительства подземных выработок: необходимость создания / В. В. Аксенов, А. А. Казанцев, Д. А. Пашков // Горная промышленность. – 2023. – № S2. – С. 83-89. – DOI 10.30686/1609-9192-2023-S2-83-89. – EDN PONAIY.

3. Граничные условия определения характерных точек ножевого исполнительного органа геохода / В. В. Аксенов, В. Ю. Садовец, Д. А. Пашков, Е. В. Резанова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2018. – № 2(126). – С. 166-173. – DOI 10.26730/1999-4125-2018-2-166-172. – EDN LUXAIH.

4. Совершенствование математической модели определения силовых параметров ножевого исполнительного органа геохода / В. В. Аксенов, В. Ю. Садовец, Е. В. Прейс, Д. А. Пашков // Горное оборудование и электромеханика. – 2018. – № 5(139). – С. 16-22. – DOI 10.26730/1816-4528-2018-5-16-21. – EDN PPSTJX.

5. Impact of the inclination angle of a blade of the geokhod cutting body on the energy intensity of rock destruction / V. V. Aksenov, A. B. Efremenkov, V. Yu. Sadovets [et al.] // 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". Vol. 656. – Veliky Novgorod: IOP Publishing Ltd, 2019. – P. 012003. – DOI 10.1088/1757-899X/656/1/012003. – EDN BQSLQA.

6. Создание проходческих подземных аппаратов, взаимодействующих с геосредой. Области исследований / В. В. Аксенов, В. Ю. Бегляков, А. В. Коперчук [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 2(148). – С. 3-12. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-2-3-12. – EDN WOIPFO.

7. Садовец, В. Ю. Исследование влияния формы режущей кромки ножевого исполнительного органа геохода на энергоемкость разрушения породы забоя / В. Ю. Садовец, Д. А. Пашков // Устойчивое развитие горных территорий. – 2021. – Т. 13, № 4(50). – С. 619-628. – DOI 10.21177/1998-4502-2021-13-4-620-628. – EDN HOWGSW.

8. Пашков, Д. А. Влияние геометрических параметров исполнительного органа геохода на его силовые параметры / Д. А. Пашков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 6. – С. 109-120. – DOI 10.25018/0236_1493_2022_6_0_109. – EDN LVTNUY.

9. Khoreshok, A. A. Mathematical model for determining the forces of interaction of geokhod systems with geo-environment and with each other / A. A. Khoreshok, D. A. Pashkov, A. B. Efremenkov // Journal of Physics: Conference Series : 3, Veliky Novgorod, 06–07 сентября 2021 года. Vol. 2052. – RUS: IOP

Publishing Ltd, 2021. – P. 012019. – DOI 10.1088/1742-6596/2052/1/012019. – EDN MQRMOE.

10. Разработка требований к трансмиссии геоходов / А. Б. Ефременков, В. В. Аксенов, М. Ю. Блащук, В. Ю. Тимофеев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2009. – № 8. – С. 101-103. – EDN NEISIN.

11. Аксенов, В. В. Геовинчестерная технология и геоходы - инновационный подход к освоению подземного пространства / В. В. Аксенов, А. Б. Ефременков // Эксперт-Техника. – 2008. – № 1. – С. 54-58. – EDN UNYXYP.

12. Аксенов, В. В. Моделирование особенностей движения геохода / В. В. Аксенов, В. Ю. Садовец // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2007. – № 1(59). – С. 20-22. – EDN HVQMEJ.

13. Горбунов, В. Ф. Экспертная оценка влияния особенностей нового класса горнопроходческой техники на методику расчета его параметров / В. Ф. Горбунов, В. В. Аксенов, В. Ю. Садовец // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2004. – № 6-1(43). – С. 43-45. – EDN OHFHWI.

14. Центр испытаний проходческих подземных аппаратов, взаимодействующих с геосредой. Области исследований / В. В. Аксенов, С. В. Магазов, А. А. Хорешок [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 4(150). – С. 65-70. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-4-65-70. – EDN NSDUXH.

15. Создание инновационного инструментария для формирования подземного пространства / В. В. Аксенов, А. Б. Ефременков, В. Ю. Садовец, Е. В. Резанова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2010. – № 1(77). – С. 42-47. – EDN LALVBF.

16. О целесообразной схеме проходки криволинейных участков / А. Гедеванов, С. Маршак // ИНТС Метрострой. – М. : 1972. – №3. С. 9-10.

17. Аксёнов В.В. Выбор схемы прохождения геоходом криволинейных участков трассы / В.В. Аксёнов, А.А. Хорешок, К.А. Ананьев, А.Н. Ермаков // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XII международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека» / Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2014. – С. 20-23.

18. Аксенов, В.В. Разработка схемных решений исполнительных органов геоходов / В.В. Аксенов, А.А. Хорешок, К.А. Ананьев, А.Н. Ермаков // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2014. – № 3. – С. 73-76.