

РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ МАНЕВРИРОВАНИЯ ГЕОХОДОВ

Аксенов В.В.^{1,2}, Пашков Д.А.^{2,1}, Мяких И.Д.³, Романов Ю.А.³, Крамп А.С.³

¹Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, Кемерово;

²Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Кемерово;

³Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, филиал в г. Прокопьевск

Ключевые слова: исполнительный орган, система маневрирования, законтурный исполнительный орган, законтурный канал, коррекция вектора движения, уширение выработки.

Аннотация. Актуальность разработки эффективной системы маневрирования геохода обусловлена необходимостью повышения его маневренности при проходке выработок в сложных горно-геологических условиях. В отличие от традиционных проходческих щитов, геоходы осуществляют движение за счёт сложного вращательно-поступательного взаимодействия с массивом горных пород, что требует специализированных технических решений для изменения траектории движения. В работе на основе анализа экспериментальных данных и существующих конструкций сформулированы ключевые требования к устройствам системы маневрирования. Установлено, что законтурный исполнительный орган должен обеспечивать формирование уширений, превышающих его габариты, для последующего поворота аппарата. Необходимо реализовать независимое управление положением задней части геохода относительно передней, а также предусмотреть возможность изменения вектора направления движения за счёт коррекции положения основного исполнительного органа. Предложенные требования создают научно-обоснованную основу для проектирования новых поколений систем маневрирования, способных обеспечить высокую точность и энергоэффективность при прокладке криволинейных выработок. Результаты исследования направлены на дальнейшее развитие геоходной технологии как перспективного направления в подземной проходке.

DEVELOPMENT OF REQUIREMENTS FOR THE GEOHOD MANEUVERING SYSTEM

Aksenov V.V.^{1,2}, Pashkov D.A.^{2,1}, Myagkih I.D.³, Romanov Yu.A.³, Kramp A.S.³

¹The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo;

²Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, Kemerovo;

³Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, branch in Prokopyevsk

Keywords: executive body, maneuvering system, regulatory executive body, regulatory channel, motion vector correction, broadening of output.

Abstract. The urgency of developing an effective geohod maneuvering system is due to the need to increase its maneuverability when sinking workings in difficult mining and geological conditions. Unlike traditional tunneling shields, geohods move due to complex rotational and translational interaction with an array of rocks, which requires specialized technical solutions to change the trajectory of movement. Based on the analysis of experimental data and existing designs, the paper formulates key requirements for maneuvering system devices. It is established that the regulatory executive body must ensure the formation of extensions exceeding its dimensions for the subsequent rotation of the apparatus. It is necessary to implement independent control of the position of the rear part of the geohod relative to the front, as well as provide for the possibility of changing the direction vector by correcting the position of the main executive body. The proposed requirements create a scientifically sound basis for designing new generations of maneuvering systems capable of providing high accuracy and energy efficiency when laying curved workings. The research results are aimed at further development of geohopping technology as a promising area in underground sinking.

Введение

Современное развитие горной промышленности требует внедрения инновационных технологий, способных обеспечить эффективное и безопасное освоение подземного пространства в сложных инженерно-геологических условиях. Одним из перспективных направлений является геоходная технология, основанная на принципе сложного

вращательно-поступательного движения аппарата в массиве горных пород. В отличие от традиционных проходческих щитов и комбайнов, геоходы представляют собой новый класс горного оборудования, способного формировать выработки с минимальным воздействием на окружающий массив, что особенно актуально при строительстве тоннелей в плотной застройке, подводной проходке и реконструкции существующих выработок [1].

Ключевой особенностью геоходной технологии является возможность направленного движения в твёрдой среде за счёт управления взаимодействием исполнительных органов с породным массивом. Однако для реализации эффективного маневрирования в условиях переменной трассы возникает необходимость в разработке специализированных устройств системы маневрирования, обеспечивающих изменение траектории движения аппарата. На сегодняшний день существующие решения, применяемые в проходческих щитах (например, шарнирные корпуса), не могут быть напрямую адаптированы к геоходам из-за различий в механизмах перемещения и характере взаимодействия с геосредой.

Исследования опытных образцов и трехмерных моделей геоходов выявили ряд ограничений в функционировании систем маневрирования, включая недостаточную ширину законтурных каналов, высокую энергоёмкость процесса формирования уширений и ограниченные возможности по изменению вектора движения. Эти факторы снижают маневренность аппарата и затрудняют его эксплуатацию на криволинейных участках трассы.

В связи с этим возникает острая необходимость в разработке новых технических решений, направленных на повышение эффективности системы маневрирования геохода. Актуальность исследований в данной области обусловлена потребностью в создании оборудования, способного не только разрушать породу, но и гибко адаптироваться к изменяющимся горно-геологическим условиям, обеспечивая высокую точность прокладки выработок и минимизацию сопротивления со стороны геосреды.

Целью настоящей работы является анализ существующих технических решений и формулирование требований к новым конструкциям, способным обеспечить эффективное управление траекторией движения в подземном пространстве.

Анализ существующих способов маневрирования проходческой техники

При исследовании параметров проходческих щитов можно прийти к выводу, что одним из важнейших факторов для ведения щита по трассе выработки является отношение его длины (L) к диаметру (D), которое называется маневренность щита.

$$M = L / D.$$

Чем меньше значение этого параметра, тем проходческий щит считается более маневренным. Кроме геометрических параметров, на маневренность щита оказывает влияние тип возводимой постоянной крепи.

Для повышения маневренности в конструкции щитов применяются различные конструктивные решения, представленные на рисунке 1.

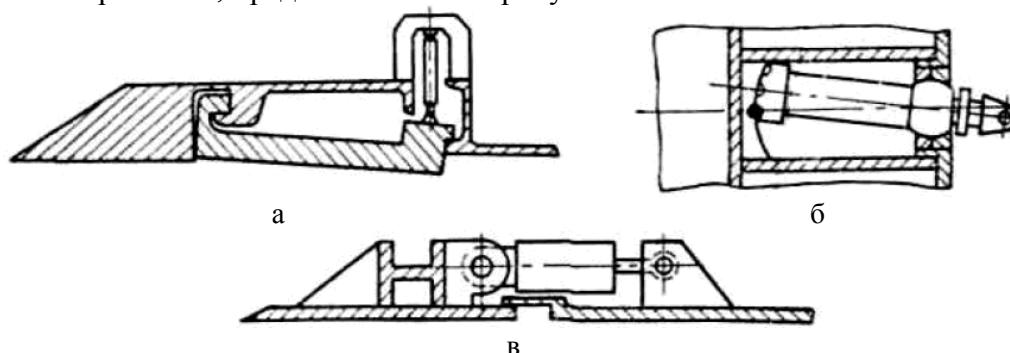


Рис. 1. Схемы устройств повышения маневренности проходческих щитов: а – отжимные поворотные плиты, б – поворотные щитовые домкраты, в – поворот ножевой части щита

Кроме этого, для проходки тоннелей на крутых криволинейных участках трассы применяются щитовые машины с шарнирным корпусом. Такие машины состоят из двух и

более частей, которые при помощи специальных устройств, имеют возможность поворачиваться друг относительно друга на определенный угол. В настоящее время создано три вида щитовых машин с шарнирным корпусом (рис. 2-4) [2, 3].

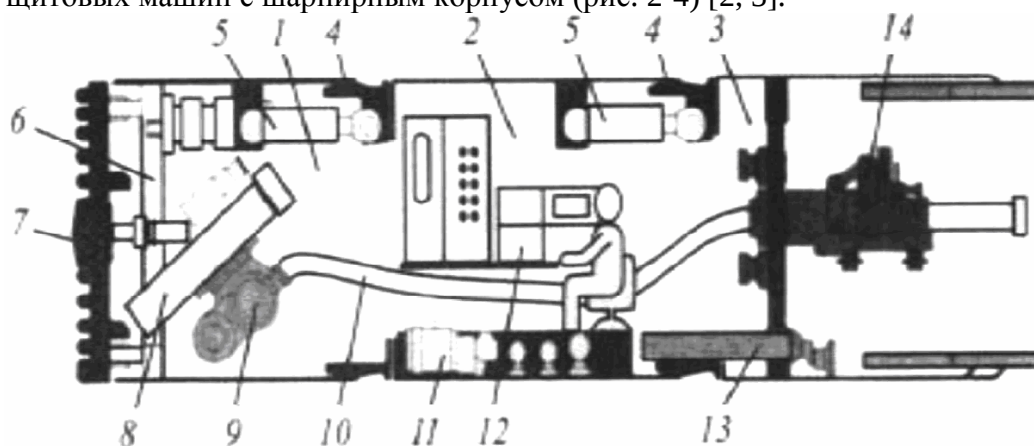


Рис. 2. Конструктивная схема щитовой машины с шарнирным корпусом первого вида

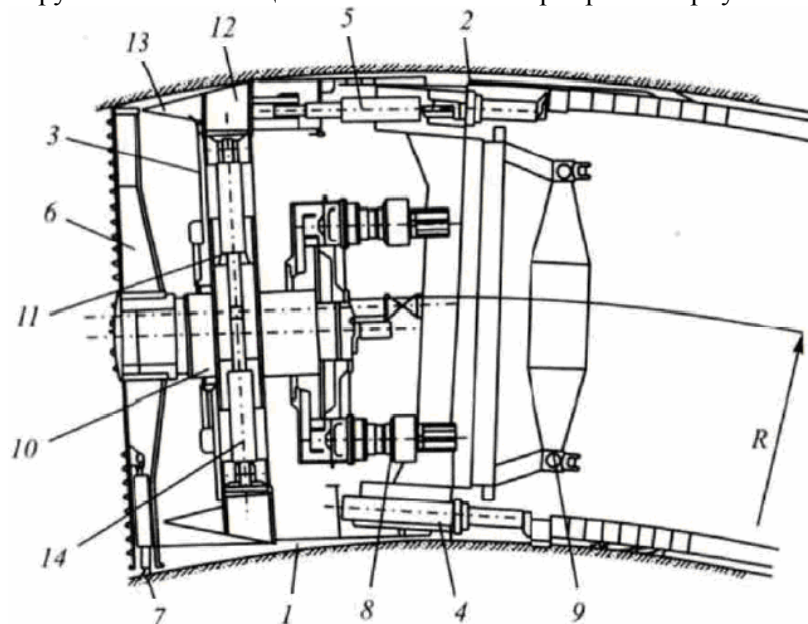


Рис. 3. Конструктивная схема щитовой машины с шарнирным корпусом второго вида

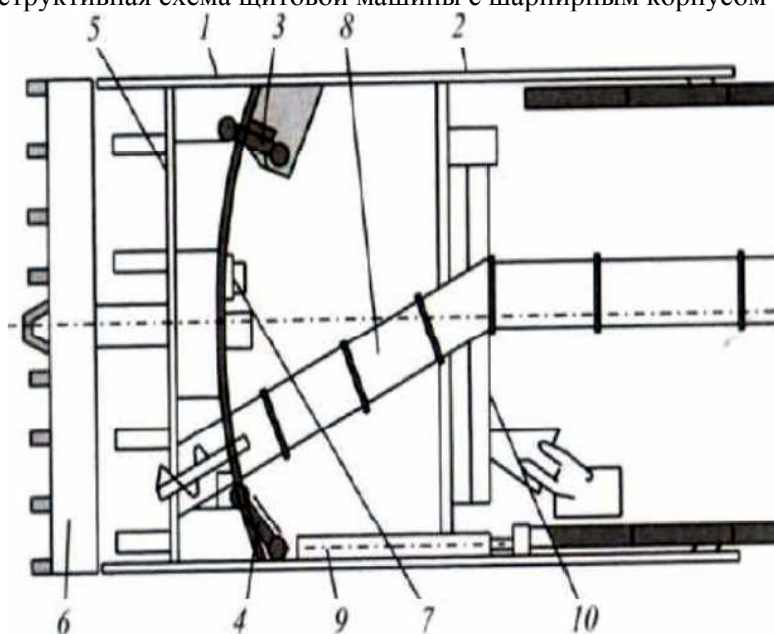


Рис. 4. Конструктивная схема щитовой машины с шарнирным корпусом третьего вида

Увеличение маневренности щитовых машин связано либо с увеличением длины всего проходческого комплекса, либо с введением в конструкцию дополнительных конструктивных элементов, приводящих к значительному увеличению массогабаритных характеристик проходческого оборудования.

Геоходная технология формирования полости в подземном пространстве реализует иной принцип перемещения горного оборудования в массиве горных пород, чем проходческие щиты и комбайны. Этот способ основан на сложном вращательно-поступательном движении твердого тела в твердой среде. Базовым элементом геоходной технологии является новый класс горного оборудования – геоход.

Работы таких исследователей как Аксенов В.В., Ананьев К.А., Ермаков А.Н., Пашков Д.А., Вальтер А.В., Бегляков В.Ю., Ефременков А.Б., Тимофеев В.Ю., Садовец В.Ю., направленные на разработку новых конструктивных и технических решений элементов и устройств геохода, показали пути исследований, направленных на изучение влияния конструктивных решений и свойств геосреды на величину параметра маневрирования горного оборудования по трассе выработки.

В работах указанных выше исследователей рассматриваются процессы разработки исполнительных органов геохода, которые косвенно влияют на маневрирование аппарата по трассе выработки. В работе Пашкова Д.А. рассматривается изгибающийся корпус (рис. 5), которое позволяет изменять угол движения геохода, однако при движении в геосреде возникает значительное сопротивление при изгибе аппарата что, в свою очередь является препятствием для быстрого изменения направления движения [4, 5].



Рис. 5. Демонстрация гибкого тела а) крайнее положение «поворот вправо», все сочленения в крайнем правом положении, б) промежуточное положение, изгиб верхнего сочленения в завершающей фазе, изгиб нижнего сочленения – в начальной фазе, в) крайнее положение «поворот влево», все сочленения в крайнем левом положении

В работах Ермакова А.Н. описывается конструкция законтурного исполнительного органа (ИО), который должен создавать законтурную полость для обеспечения поворота (рис. 6, 7) [6, 7].

Однако в ходе испытаний опытного образца геохода диаметром 3,2 м была выявлена необходимость разработки новых исполнительных органов с возможностью формирования законтурных каналов шириной, превышающей ширину исполнительного органа. Кроме того, на данном этапе имеется необходимость в совершенствовании приводов, предназначенных для обеспечения работы законтурного исполнительного органа [4, 8].

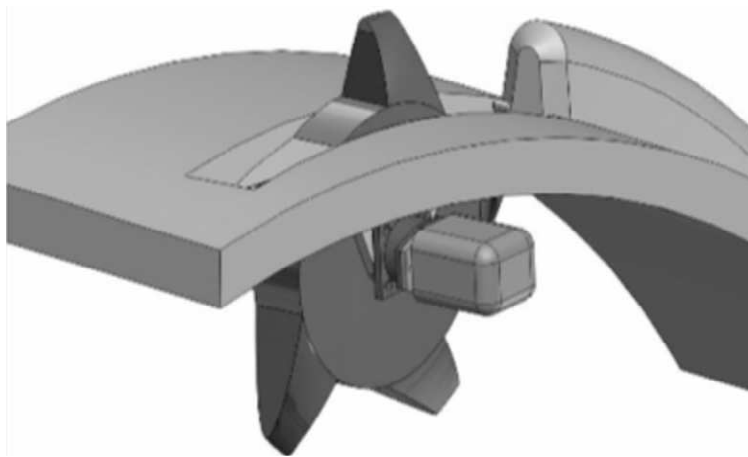


Рис. 6. Законтурный ИО дискового типа



Рис. 7. Законтурный ИО типа фреза с возможностью поперечного перемещения в законтурном канале

В работах Ананьева К.А. описываются способы маневрирования геохода с роторными, стреловидными, многокорончатыми, барабанными и с зафиксированными коронками исполнительными органами.

Маневрирование геохода с такими ИО по трассе реализуется как и в механизированных щитах – созданием уширений выработки выдвигающимися копир-резцами 3 (рис. 8, а), а при шарнирно-сочлененной конструкции модуля исполнительного органа с корпусом геохода (рис. 8, б, в) – наклоном планшайбы в нужном направлении с выходом за контур выработки [9, 10].

Создание уширения выработки для маневрирования геохода со стреловидным ИО и ИО с зафиксированными коронками, согласно рисунку 8, возможно двумя способами – изменением угла установки либо выдвиганием коронки вдоль оси её вращения. Причем для стреловидных ИО возможны одновременно оба способа и этот вариант не требует дополнительных элементов.

Маневрирование геохода с многокорончатым лучевым ИО осуществляется по тому же принципу, что и маневрирование геохода с роторным ИО (см. рис. 9, 10) [10].

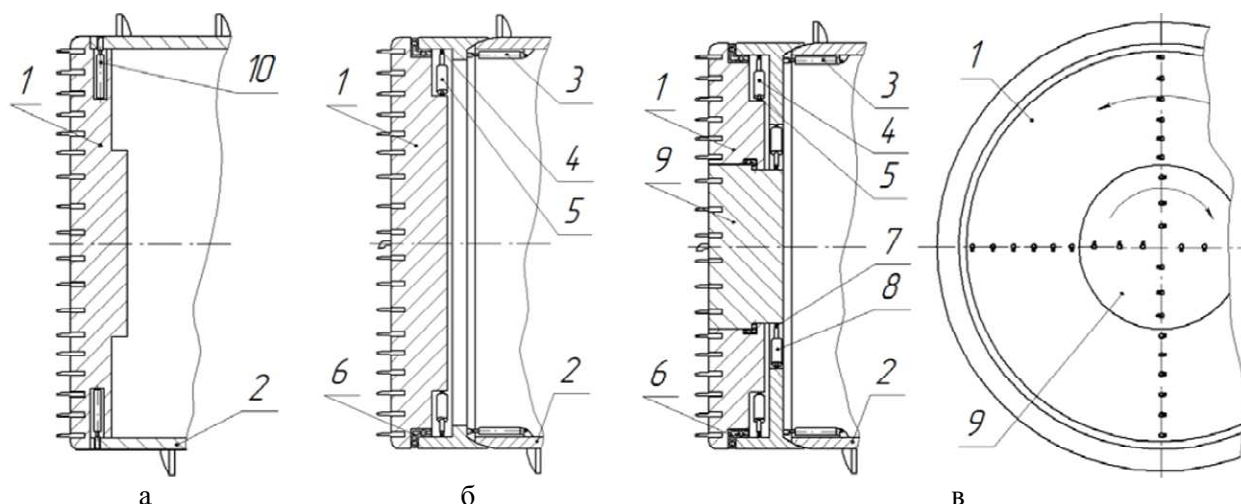


Рис. 8. Схемы роторного ИО: а – без организации движения ротора; б – одноосевой с организацией дополнительного вращения; в – соосный с организацией дополнительного вращения: 1 – планшайба; 2 – головная секция; 3 – маневровый привод; 4, 7 – механизм возврата гидроцилиндров вращения (типа храповой механизм); 5, 8 – привод вращения планшайбы (гидроцилиндры); 9 – соосная планшайба; 10 – копир-резец

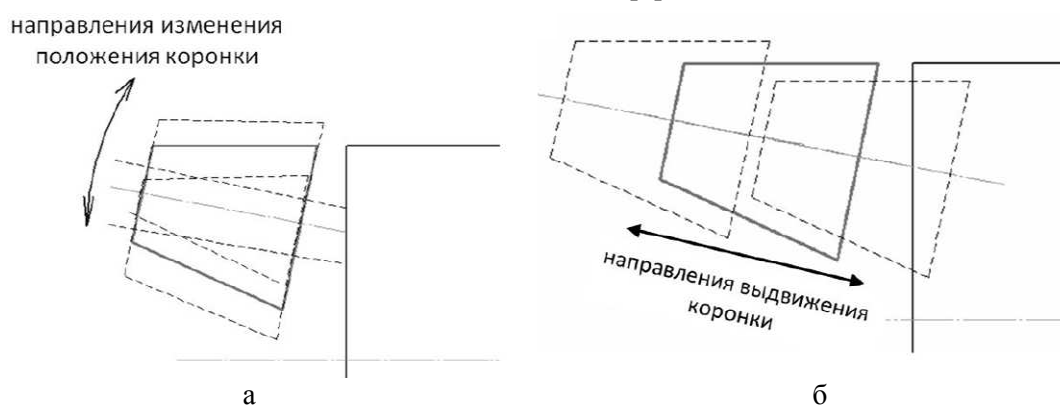


Рис. 9. Принципы обеспечения маневрирования геохода с корончатыми ИО: а – изменение угла установки коронки; б – осевое выдвигание коронки

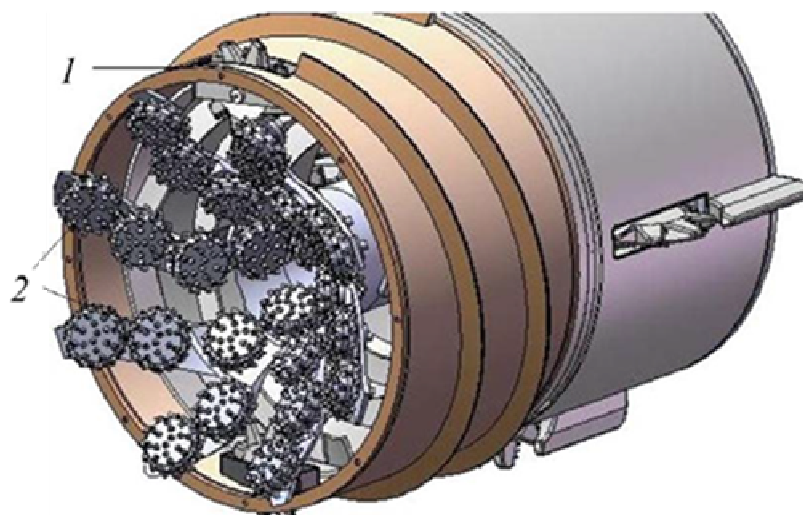


Рис. 10. Многокорончатый лучевой ИО: 1 – головная секция геохода; 2 – коронки (диски)

В данной конструкции ИО создание уширения выработки для маневрирования возможно реализовать тремя способами:

- изменением угла установки барабана (рис. 11, а);
- выдвиганием барабанов вдоль оси их вращения (рис. 11, б);
- изменением межосевого расстояния в диапазоне от a до $a_{пер}$ (рис. 11, в) [10].

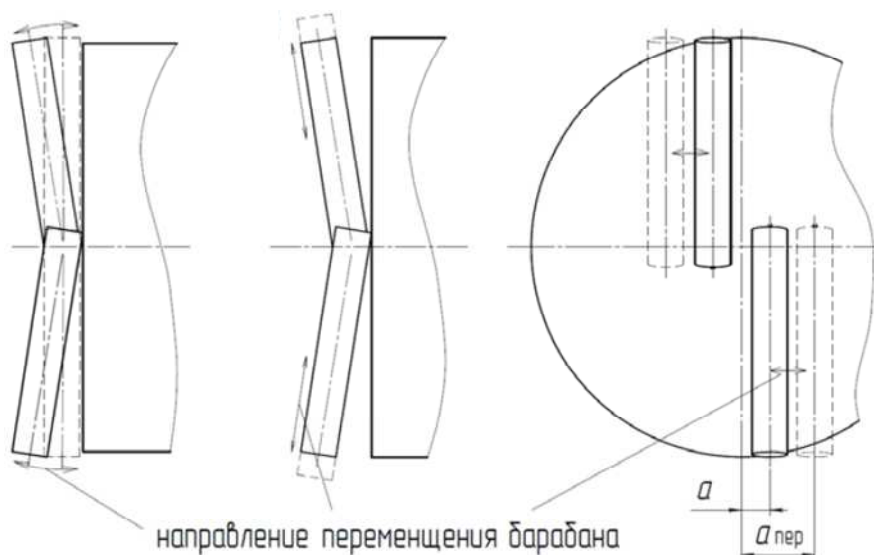


Рис. 11. Варианты создания уширения ИО с несколькими барабанами: а – изменение угла установки барабанов; б – осевое выдвижение барабанов; в – изменением межбарабанного расстояния a

Анализ недостатков конструкции

В представленных выше механизмах были выявлены следующие недостатки:

1. Принцип изменения направления движения щитовых машин не подходит для геогодов, так-как геогодная технология формирования полости в подземном пространстве реализует иной принцип перемещения горного оборудования в массиве горных пород;

2. Изгибающийся корпус, позволяющий изменять угол движения геогода, не является эффективным так-как при движении в геосреде возникает значительные силы сопротивления геосреды при изгибе аппарата что, в свою очередь является препятствием для быстрого изменения направления движения;

3. Законтурные исполнительные органы на данном этапе также являются недостаточно эффективными, так как не имеют возможность формирования законтурных каналов шириной, превышающей ширину исполнительного органа. Кроме того, на данном этапе имеется необходимость в совершенствовании приводов, предназначенных для обеспечения работы законтурного исполнительного органа;

4. Создание уширений выработки выдвигающимися исполнительными органами является не целесообразным в виду высокой энергоемкости и низкой производительности. Что в свою очередь сподвигло к созданию законтурных исполнительных органов.

Для нивелирования вышеуказанных недостатков конструкций необходимо сформировать список требований к устройствам системы маневрирования с целью повышения эффективности передвижения аппарата по трассе выработки:

- Система маневрирования должна обладать возможностью изгибать корпус аппарата с целью изменения направления движения;

- Система маневрирования должна иметь возможность создания параметрически изменяющейся полости за пределами контура аппарата с целью уменьшения сопротивления геосреды, облегчая изгиб корпуса и дальнейшее изменения направления трассы выработки;

- При наличии в системе маневрирования законтурного исполнительного органа он должен иметь возможность формирования законтурных каналов с шириной больше ширины исполнительного органа;

- Система маневрирования должна иметь возможность изменять положение задней части аппарата независимо от положения передней части, что позволит достичь улучшенных маневренных характеристик;

- Система маневрирования должна иметь возможность изменять положение основного исполнительного органа с целью изменения вектора направления движения.

Выводы

В ходе проведенного исследования установлено, что эффективное маневрирование геохода в подземном массиве горных пород требует разработки специализированной системы, способной обеспечивать изменение траектории движения с высокой точностью и минимальными энергетическими затратами. Анализ существующих технических решений и экспериментальных данных, полученных на демонстрационных образцах геоходов, выявил ограниченные возможности текущих конструкций в условиях сложной трассировки выработок.

Сформулированы ключевые требования к устройствам системы маневрирования геохода, направленные на повышение её функциональной эффективности. Во-первых, при наличии законтурного исполнительного органа он должен обеспечивать формирование каналов, превышающих по ширине габариты самого органа, что необходимо для создания уширений, достаточных для последующего поворота аппарата. Во-вторых, система маневрирования должна обеспечивать независимое изменение положения задней части геохода относительно передней, что позволит реализовать гибкое управление конфигурацией аппарата и значительно улучшить его маневренные характеристики. В-третьих, система должна предоставлять возможность изменения положения основного исполнительного органа с целью корректировки вектора направления движения, что является критически важным для точного следования заданной траектории.

Представленные требования создают научно-техническую основу для проектирования новых поколений систем маневрирования геоходов, способных функционировать в сложных горно-геологических условиях и обеспечивать высокую степень автоматизации процесса проходки. Их реализация позволит повысить конкурентоспособность геоходной технологии, расширить сферу её применения и способствовать инновационному развитию горной промышленности.

Список литературы

1. Блашук М.Ю., Ефременков А.Б., Бегляков В.Ю. Геоходы – новый класс горнопроходческой техники // Современная техника и технологии: Труды 14 Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых. В 3 томах, Томск, 24-28 марта 2008 года. Том 1. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2008. – С. 240-242.
2. Осипов Р.С., Пашков Д.А., Садовец В.Ю. Обоснование необходимости увеличения маневренности геохода // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте: Сборник материалов III Международной научно-практической конференции, Кемерово, 14-17 октября 2019 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2019. – С. 233-237.
3. Жабин А.Б., Поляков А.В., Поляков А.В., Антипов В.В. Управление направленным движением проходческого щита и устройства контроля его положением // Горное оборудование и электромеханика. – 2009. – №2. – С. 2-7.
4. Мягких И.Д. Актуальность разработки устройств системы маневрирования геоходов // Новый взгляд на систему образования: Сборник трудов V Международной научно-практической конференции. – Прокопьевск: Филиал КузГТУ в г. Прокопьевске, 2025. – С. 119-122.
5. Пашков Д.А. Особенности работы исполнительного органа геохода с изгибающимся корпусом // Инновации в технологиях и образовании: Сборник статей участников XIV Международной научно-практической конференции, Белово, 26 марта 2021 года. Том 1. – Белово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2021. – С. 156-159.
6. Ермаков А.Н. Оценка требуемой скорости подачи законтурных исполнительных органов геохода // Перспективы инновационного развития угольных регионов России: Сборник трудов V Международной научно-практической конференции. – Прокопьевск: Изд-во филиала КузГТУ в г. Прокопьевске, 2016. – С. 302-305.
7. Ермаков А.Н. Обоснование параметров законтурных исполнительных органов геоходов для разрушения пород средней крепости: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2016. – 20 с.
8. Нестеров В.И., Ермаков А.Н. Сравнение износа режущего инструмента на законтурных исполнительных органах геоходов // Горное оборудование и электромеханика. – 2015. – № 7(116). – С. 41-45.
9. Ананьев К.А., Ермаков А.Н., Сидоров М.С., Варнавский К.А. Обзор исполнительных органов буровых установок // Техника и технология горного дела. – 2022. – №4(19). – С. 35-61. – DOI: 10.26730/2618-7434-2022-4-35-61.
10. Ананьев К.А. Создание исполнительного органа геохода для разрушения пород средней крепости: Дисс. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2016. – 144 с.

References

1. Blashchuk M.Yu., Efremenkov A.B., Beglyakov V.Yu. Geohods – a new class of mining equipment // Modern equipment and technologies: Proceedings of the 14th International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young People. In 3 volumes, Tomsk, March 24-28, 2008. Volume 1. – Tomsk: National Research Tomsk Polytechnic University, 2008. – P. 240-242.
2. Osipov R.S., Pashkov D.A., Sadovets V.Y. Justification of the need to increase the maneuverability of the geohod // Innovations in information technology, mechanical engineering and motor transport: Collection of materials of the III International Scientific and Practical Conference, Kemerovo, October 14-17, 2019. – Kemerovo: Kuzbass State Technical University n.a. T.F. Gorbachev, 2019. – P. 233-237.
3. Zhabin A.B., Polyakov A.V., Polyakov A.V., Antipov V.V. Directional motion control of the tunneling shield and its position control device // Mining equipment and electromechanics. 2009, no. 2, pp. 2-7.
4. Myagkih I.D. The relevance of the development of devices for maneuvering geohouses // A new look at the education system: Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference. – Prokopyevsk: Branch of the KuzSTU in Prokopyevsk, 2025. – P. 119-122.
5. Pashkov D.A. Features of the work of the executive body of a geohod with a bending hull // Innovations in technology and education: A collection of articles by participants of the XIV International Scientific and Practical Conference, Belovo, March 26, 2021. Volume 1. – Belovo: Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, 2021. – P. 156-159.
6. Ermakov A.N. Assessment of the required feed rate of the legal executive bodies of geohod // Prospects of innovative development of Russia's coal regions: Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference. – Prokopyevsk: Publ. house of the KuzSTU in Prokopyevsk, 2016. – P. 302-305.
7. Ermakov A.N. Substantiation of the parameters of the statutory executive bodies of geohouses for the destruction of rocks of medium strength: Abstract of the diss. ... cand. of tech. sc. – Kemerovo, 2016. – 20 p.
8. Nesterov V.I., Ermakov A.N. Comparison of cutting tool wear on the structural executive bodies of geohouses // Mining equipment and electromechanics. 2015, no. 7(116), pp. 41-45.
9. Ananyev K.A., Ermakov A.N., Sidorov M.S., Varnavsky K.A. Review of the executive bodies of drilling rigs // Mining engineering and technology. 2022, no. 4(19), pp. 35-61. DOI: 10.26730/2618-7434-2022-4-35-61.
10. Ananyev K.A. Creation of the executive body of the geohod for the destruction of rocks of medium strength: Diss. ... cand. of tech. sc. – Kemerovo, 2016. – 144 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Аксенов Владимир Валерьевич – доктор технических наук, главный научный сотрудник	Aksenov Vladimir Valerievich – doctor of technical sciences, chief researcher
Пашков Дмитрий Алексеевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник НЦЦТ; ведущий научный сотрудник	Pashkov Dmitry Alekseevich – candidate of technical sciences, senior researcher of the scientific and technical center; senior researcher
Мягких Илья Дмитриевич – преподаватель	Myagkih Ilya Dmitrievich – lecturer
Романов Юрий Александрович – преподаватель	Romanov Yuri Aleksandrovich – lecturer
Крамп Альбина Сагитовна – студент	Kramp Albina Sagitovna – student
cliomineng06@gmail.com	

Получена 24.10.2025