

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 622.23.05

МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГЕОХОДА И ЕГО СИСТЕМ С ГЕОСРЕДОЙ. НЕОБХОДИМОСТЬ ПЕРЕФОРМАТИРОВАНИЯ

В.В. АКСЕНОВ^{1,2}, д-р техн. наук, В.Ю. БЕГЛЯКОВ³, канд. техн. наук,
В.Ю. САДОВЕЦ^{2,4}, канд. техн. наук, Д.А. ПАШКОВ^{2,4}, канд. техн. наук,
Р.С. ОСИПОВ⁵, ведущ. инженер, И.Р. ИЗМАЙЛОВ⁵, ведущ. инженер

¹Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН,

650610, Кемерово, пр. Ленинградский, 10, e-mail: 55vva42@mail.ru

²Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,
650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28

³Юргинский технологический институт,

Филиал Томского политехнического университета,

652052, Юрга, ул. Ленинградская, 26

⁴Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,
Филиал в Прокопьевске, 653033, Кемеровская обл., Прокопьевск, ул. Ноградская, 19а

⁵АО «Уральский научно-технологический комплекс»,
622007, Нижний Тагил, Восточное шоссе, 28А

© Аксенов В.В., Бегляков В.Ю., Садовец В.Ю.,
Пашков Д.А., Осипов Р.С., Измайлов И.Р., 2023

Рассмотрена задача по переформатированию существующей модели определения параметров геохода в модель взаимодействия геохода с геосредой с учетом особенностей этой среды. Предложена структура математической модели взаимодействия геохода и его систем с геосредой.

Ключевые слова: горное оборудование, проходческий подземный аппарат, геосреда, геоход, геоходная технология, математическая модель.

DOI: 10.46573/2658-5030-2023-1-19-28

ВВЕДЕНИЕ

В бурно меняющейся мировой экономической обстановке перед Россией возникают глобальные задачи, связанные с разработкой и внедрением новых подходов к постановке и освоению производства новых видов техники и машин. Эти подходы должны быть направлены не только на замещение импортного оборудования, но и формирование иных классов машин и оборудования, которые бы не только составили конкуренцию существующим импортным аналогам по техническим характеристикам, но и превосходили их.

Одними из основных отраслей промышленности, которые больше всего пострадали от санкций, являются добыча полезных ископаемых и строительство подземных сооружений. В первую очередь это связано с прекращением поставок высокотехнологичного горнопроходческого оборудования ведущих мировых производителей. Доля импортного горнопроходческого оборудования на

отечественных предприятиях, ведущих добычу твердых полезных ископаемых, составляет более 60 % [1]. На сегодняшний день в России горнопроходческие машины производятся на Копейском и Ясиноватском машиностроительных заводах. Объем выпускаемого в РФ горнопроходческого оборудования не может удовлетворить спрос конечных потребителей. Кроме того, в России не производят проходческие комплексы [2].

Таким образом, в сложившейся неблагоприятной экономической обстановке Правительством РФ поставлена задача не только наращивать темпы импортозамещения материалов и оборудования, но и искать инновационные подходы к созданию различных типов оборудования. Можно выделить три способа решения указанной задачи:

- 1) совершенствование и модернизацию существующего горнопроходческого оборудования;
- 2) проведение реверс-инжиниринга импортного оборудования;
- 3) разработку машин и оборудования, превосходящих по техническим характеристикам импортные аналоги, на базе современных подходов к формированию (освоению) подземного пространства.

Реализация первых двух направлений позволит сделать технологический рывок в отечественном производстве горнопроходческого оборудования, но оставит нас на позициях «догоняющих» производителей. Третье направление даст возможность осуществить принцип «не догоняя, обгонять», то есть российские производители не только обеспечат страну оборудованием, которое раньше поставляли зарубежные фирмы и организации, но и выйдут на лидирующие позиции по производству горнопроходческой техники, не имеющей аналогов и превосходящей иностранные машины по техническим характеристикам.

В рамках приведенных выше целей и задач коллективом авторов предложен новый технологический уклад формирования (освоения) подземного пространства на базе концепции опережающего развития отечественной строительной геотехнологии и геотехники (рис. 1) [3].



Рис. 1. Разработанная коллективом авторов структура перспективного технологического уклада освоения (формирования) подземного пространства

Одним из основных структурных элементов технологического уклада является создание подземных аппаратов, взаимодействующих с геосредой – приконтурным

массивом горных пород, охватывающим проходческий подземный аппарат при его движении. Разработчиками нового подхода был спроектирован и изготовлен пилотный образец нового класса подземных аппаратов (ПА) модели 401 диаметром 3,2 м (рис. 2) [4].



Рис. 2. Опытный образец ПА модели 401 диаметром 3,2 м

ОСОБЕННОСТИ ПА КЛАССА «ГЕОХОД» И ГЕОХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Основная особенность ПА класса «геоход» – включение массива горных пород в образование напорных усилий на исполнительном органе машине. Кроме того, во время проведения опытных испытаний ПА класса «геоход» были выявлены преимущества нового класса машин [5–10]:

- наличие внешней (законтурной) опорно-двигательной системы, включающей новые функционально-конструктивные элементы, взаимодействующие с геосредой;

- использование геосреды (приконтурного массива горных пород) для формирования тягового и напорного усилий, при этом приконтурный массив выступает кинематическим звеном, находится в зацеплении с законтурной опорно-двигательной системой;

- возможность горизонтального и вертикального маневрирования;

- универсальность по углам наклона проводимой выработки в широком диапазоне;

- исключение веса машины из процесса формирования тягового усилия;

- создание на исполнительном органе разрушения забоя ПА достаточных напорных усилий без искусственного наращивания веса ПА.

Стоит отметить, что ПА «Геоход» – изделие, которое является горнопроходческим оборудованием нового поколения, которое превосходит по тактико-техническим характеристикам импортные и отечественные аналоги. При движении в геосреде ПА нового класса необходимо преодолевать лобовое сопротивление (сумму сопротивлений геосреды движению элементов ПА, взаимодействующих с геосредой). Для создания силы тяги, которая противоположно направлена лобовому сопротивлению и создается взаимодействием внешнего движителя ПА с геосредой (рис. 3), ПА класса «геоход» использует приконтурный массив горных пород, что позволяет исключить влияние веса машины на формирование силы тяги. Существующие же типы горнопроходческой техники для увеличения усилий на исполнительном органе требуют наращивания массы горнопроходческого оборудования.

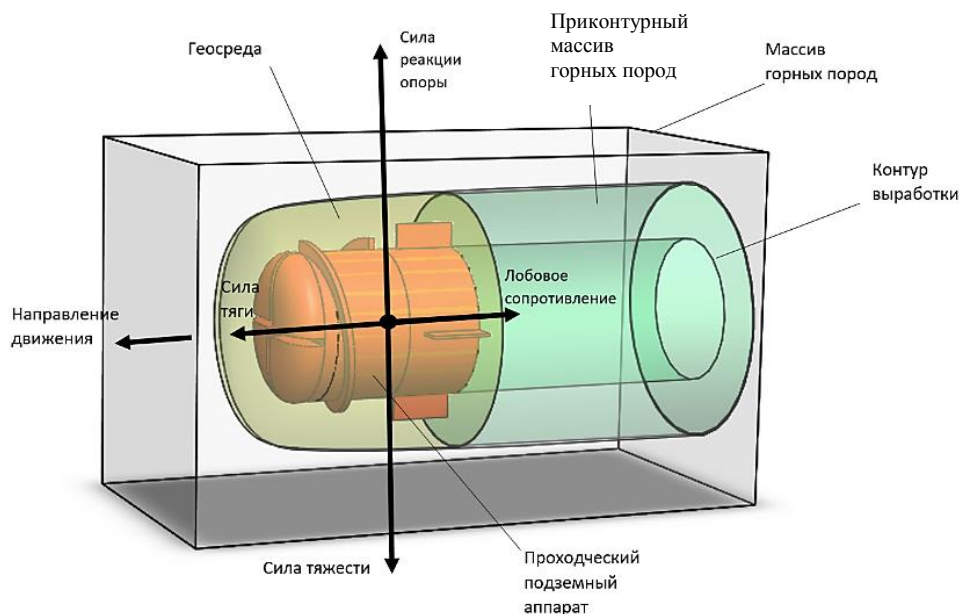


Рис. 3. Силы, действующие на проходческий подземный аппарат при движении

Технологию проведения подземных горных работ с применением ПА класса «геоход» называют геоходной. Эта технология обладает рядом потенциальных преимуществ перед традиционными способами проходки [11–17]:

возможностью строительства подземных сооружений и проведения выработок под различными углами наклона;

возможностью создания новых типов крепей на основе ресурсосберегающих технологий изготовления элементов крепи;

увеличенной производительностью при меньшей мощности и массе оборудования.

Важным преимуществом является также то, что отсутствуют ограничения в использовании проходческого оборудования по углам строительства подземных выработок.

«Прародителем» ПА класса «геоход» был винтоповоротный проходческий агрегат (ВПА) «ЭЛАНГ» (название агрегата – аббревиатура, составленная из первых букв фамилий разработчиков (А.Ф. Эллер, В.В. Аксенов, В.Д. Нагорный, В.Ф. Горбунов)). При создании, проектировании, а главное, при разработке методики определения параметров ВПА были заложены традиционные подходы конструирования горнопроходческой техники, которые применяются и сейчас.

Существующее научно-методическое обеспечение по разработке и созданию горных машин не соответствует особенностям работы нового класса ПА («геоход») и требованиям к этой работе. Для большинства систем и элементов нового класса ПА («геоход») отсутствуют методики расчета и обоснованного выбора рациональных параметров. Остро назрел вопрос в формировании нового подхода к проектированию ПА. В основе этого подхода должно лежать решение, основанное на принципе перемещения ПА при образовании полости в подземном пространстве. Проходка подземных выработок авторами рассматривается как процесс движения твердого тела в твердой среде (геосреде). При разработке моделей определения параметров ПА класса «геоход» и его систем необходимо учитывать силы преодоления сопротивления геосреды движению ПА.

Во время создания экспериментальных и опытных образцов нового класса ПА («геоход») [18–24], а именно на этапе проектирования, разработчики столкнулись с тем, что отсутствует научно-методическое обеспечение определения параметров основных элементов и систем ПА, взаимодействующих с геосредой при его движении. Кроме того, существующую методику нахождения параметров ПА класса «геоход» не представляется возможным адаптировать для решения новых задач, возникающих из-за появления новых устройств и систем геоходов.

Системы геохода, взаимодействующие с геосредой, описаны в таблице. Расположение этих систем в механизме показано на рис. 4.

Системы геохода, взаимодействующие с геосредой

Название системы	Назначение
Геоход	Формирование подземного пространства, строительство подземных выработок
Исполнительный орган главного забоя (ИО ГЗ)	Преодоление фронтального сопротивления геосреды и формирования в ней пространства для движения корпусов тягового и опорного модуля ПА
Корпус тягового модуля	Безопасное движение ПА при проведении подземной выработки; размещение внутри оборудования, а на наружной поверхности – внешнего движителя и его ИО
Корпус опорного модуля	Безопасное движение ПА при проведении подземной выработки; размещение внутри оборудования, а на наружной поверхности – элементов противовращения (крыльев) и их ИО
Внешний движитель	Создание силы тяги и напорного усилия на всех ИО ПА
Исполнительный орган внешнего движителя (ИО ВД)	Преодоление сопротивления геосреды и формирования в ней пространства (винтового канала) для движения внешнего движителя
Элементы противовращения	Восприятие реактивного момента при движении ПА
Исполнительные органы элементов противовращения (ИО ЭП)	Преодоление сопротивления геосреды и формирования в ней пространства (продольных каналов) для движения элементов противовращения

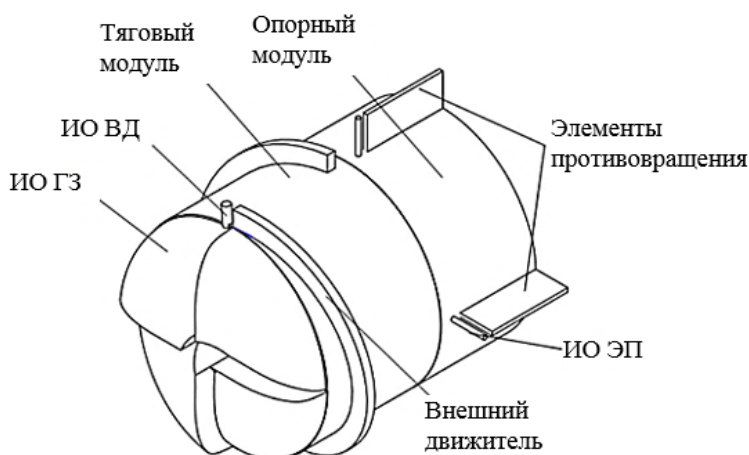


Рис. 4. Общий вид проходческого ПА класса «геоход»

Отсутствие научно-методического обеспечения является сдерживающим фактором на пути создания нового класса ПА!

С учетом предложенного подхода к проведению подземных выработок и новых принципов создания ПА был разработан и изготовлен демонстрационный образец ПА класса «геоход» диаметром 0,64 м. Он обладает принципиальным отличием конструкции от опытного образца ПА модели 401 диаметром 3,2 м.

Стендовые испытания ПА класса «геоход» диаметром 0,64 м в сыпучей геосреде выявили недостатки применения при разработке модели определения параметров геохода, которая не учитывает возникающие при движении ПА геодинамические явления. Движение демонстрационного образца ПА «Геоход» в указанной геосреде выявило наличие вязкого трения (перемещения слоев этой среды) между системами ПА и геосредой (рис. 5), что проявилось как налипание геосреды на элементы демонстрационного образца ПА класса «геоход».



Рис. 5. Положение демонстрационного образца геохода после предварительных испытаний

Чтобы разработать новые образцы, нужно решить задачу по переформатированию в соответствии с современными условиями, правилами модели определения параметров геохода (трансформации этой модели в модель взаимодействия геохода и его систем с геосредой с учетом обозначенных особенностей, целей и задач по созданию другого класса горнопроходческой техники). В этом русле выполнены первые исследования и получены результаты [25, 26], которые в целом можно расценивать как получение «разведанных» для принятия решений по выбору направлений дальнейших исследований и созданию экспериментальных образцов ПА.

Применительно к разработке нового класса ПА приоритетным является создание или совершенствование общих компоновок ПА класса «геоход», корпусов, трансмиссий, внешних движителей, элементов противовращения, исполнительных органов разрушения забоя, законтурных исполнительных органов, элементов управления ПА по трассе проводимой выработки, погрузочных модулей, транспортных систем, энергосиловых установок, стартовых устройств, крепевозводящих модулей. Анализ существующей математической модели определения силовых параметров ПА класса «геоход», а также новых исследований геоходной тематики [10–26] позволил нам сформулировать требования к переформатированной модели взаимодействия геохода и его систем с геосредой.

ТРЕБОВАНИЯ К МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГЕОХОДА И ЕГО СИСТЕМ С ГЕОСРЕДОЙ

Переформатированная математическая модель взаимодействия геолода и его систем с геосредой должна учитывать связь модели систем и элементов ПА класса «геолод» между собой и геосредой; обеспечивать определение геометрических, силовых и энергетических параметров ПА указанного класса и его систем, выбор рациональной внешней формы ПА; учитывать геодинамические явления, возникающее при движении твердого тела в твердой среде, а также различные режимы работы и направления движения при поиске геометрических, силовых и энергетических параметров ПА класса «геолод»; давать возможность включения моделей взаимодействия с геосредой новых систем и элементов ПА класса «геолод». На основании этих требований была разработана структура взаимодействия ПА класса «геолод» и его систем с геосредой (рис. 6). Эта структура стала базой научно-методического обеспечения создания нового класса горнопроходческой техники, а именно ПА класса «геолод».

Необходимо, согласно разработанной модели, трансформировать имеющиеся математические модели определения параметров систем геолода, а также создать новые модели взаимодействия систем геолода с геосредой. Первоочередными для переформатирования и разработки выступают модели взаимодействия ИО ГЗ с геосредой; корпуса тяговой секции с геосредой; ВД тяговой секции с геосредой; ИО ВД тяговой секции с геосредой; корпуса стабилизирующей секции с геосредой; корпуса ИО ЭП секции с геосредой.

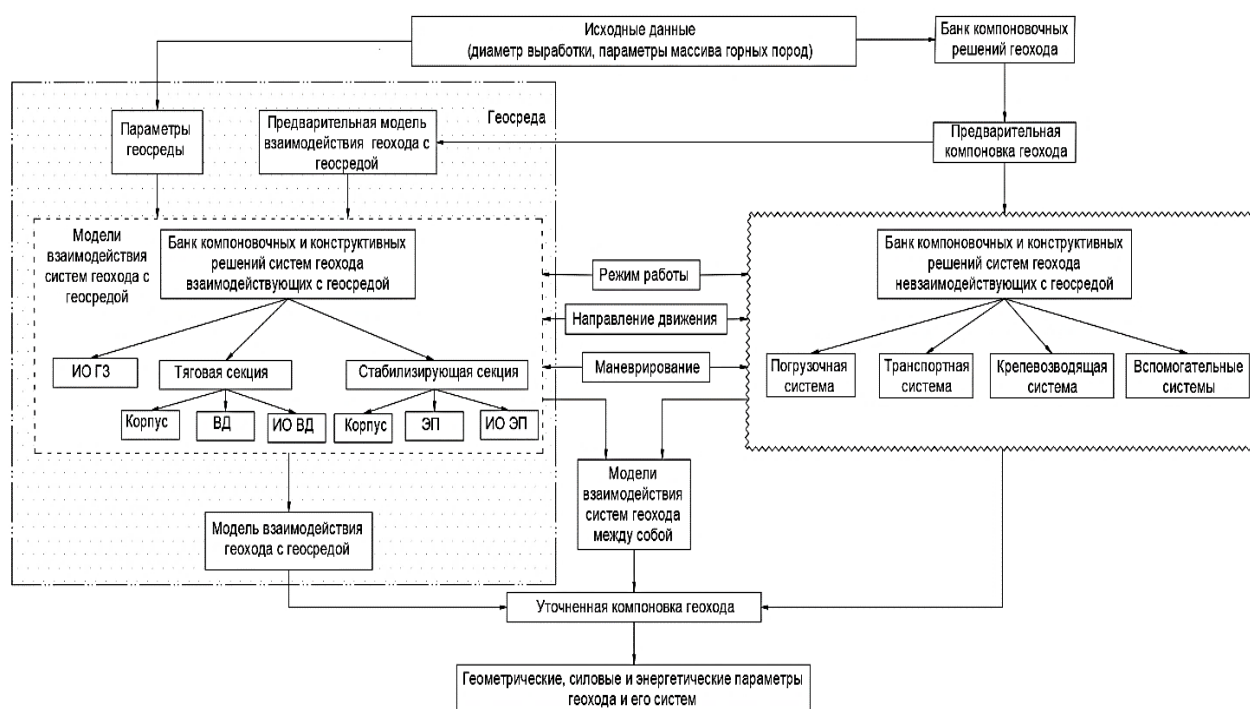


Рис. 6. Структура математической модели взаимодействия геолода и его систем с геосредой

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлено три пути выхода из кризисной ситуации, сложившейся в отечественном производстве горнопроходческой техники. Перспективным является направление, которое позволит реализовать принцип «не догоняя, обгонять».

Основным сдерживающим фактором создания и разработки нового класса горнопроходческой техники, в частности ПА класса «геоход», как мы не раз говорили выше, выступает отсутствие научно-методического обеспечения определения параметров систем и элементов ПА, взаимодействующих с геосредой при его движении. Предложенная структура математической модели взаимодействия геохода и его систем с геосредой позволяет учитывать не только сопротивление геосреды при движении ПА класса «геоход», но и взаимодействие систем геохода между собой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Плакиткина Л.С., Плакиткин Ю.А., Дьяченко К.И. Оценка производственного потенциала отечественных машиностроительных предприятий для реализации программы импортозамещения в угольной отрасли // *Уголь*. 2021. № 1 (1138). С. 34–42.
2. Аксенов В.В., Магазов С.В., Хорешок А.А., Бегляков В.Ю., Садовец В.Ю., Пашков Д.А. Геодинамика подземных аппаратов. Формула специальности, области исследований // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2020. № 2 (138). С. 31–41.
3. Аксенов В.В., Хорешок А.А., Бегляков В.Ю. Концепция создания перспективного технологического уклада формирования (освоения) подземного пространства на базе опережающего развития новых подходов в строительной геотехнологии и геотехнике. Часть 2 // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2018. № 5 (129). С. 43–52.
4. Ефременков А.Б. Разработка научных основ создания систем геохода. Дисс. ... д-ра техн. наук. Кемерово. 2016. 314 с.
5. 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.
6. Блащук М.Ю. Обоснование параметров трансмиссии геохода с гидроприводом. Дисс. ... канд. техн. наук. Юрга. 2012. 155 с.
7. Блащук М.Ю., Чернухин Р.В. Основные требования к насосной станции геохода // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки»*. 2013. № 5-6. С. 30–32.
8. Blashchuk M.Yu., Kasantsev A.A., Chernukhin R.V. Capacity calculation of hydraulic motors in geokhod systems for justification of energy-power block parameters // *Applied Mechanics and Materials*. 2014. V. 682. P. 418–425.
9. Дронов А.А. Обоснование параметров узла сопряжения секций геохода. Дисс. ... канд. техн. наук. Кемерово. 2020. 169 с.
10. Blaschuk M.Y., Dronov A.A., Ganovichev S.S. Calculation of Free Interior Dimensions in Geokhod Transmission with Hydraulic Cylinders // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing. 2016. V. 127. № 1. P. 012033.
11. Дронов А.А., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю. Формирование требований к узлу сопряжения секций геохода // *Горное оборудование и электромеханика*. 2016. № 8 (126). С. 39–42.
12. Blashchuk M.Y., Dronov A.A., Ganovichev S.S. Calculation of geometrical parameters of geokhod transmission with hydraulic cylinders // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Innovative Technologies in Engineering*. IOP Publishing. 2016. V. 142. P. 12128.
13. Chernukhin R.V., Dronov A.A., Blashchuk M.Y. The Application of the Analytic Hierarchy Process When Choosing Layout Schemes for a Geokhod Pumping Station // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing. 2015. V. 91. № 1. P. 012086.

14. Чернухин Р.В., Блащук М.Ю., Буялич Г.Д., Богодаев А.А. Определение тепловой мощности, отводимой гидробаками насосной станции геохода // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2015. № 6-2. С. 209–213.
15. Chernukhin R.V., Timofeev V.Yu., Grigoryeva E.G. Effect of Incorporated Pumping Station Weight on the Rotating Torque of Geokhod Transmission // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing. 2016. V. 127. № 1. P. 012035.
16. Чернухин Р.В. Обоснование параметров насосной станции энергосиловой установки геохода. Дисс. ... канд. техн. наук. Кемерово. 2014. 129 с.
17. Хорешок А.А., Ананьев К.А., Ермаков А.Н., Шахманов В.Н. Обоснование схемы установки и направления вращения барабанов на исполнительном органе геохода // *Горное оборудование и электромеханика*. 2019. № 4 (144). С. 15–20.
18. Walter A.V., Borovikov I.F., Chernukhin R.V., Nozirzoda S.S. Research on geometric errors of intermediate unit shell of a geokhod // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing. 2016. V. 127. № 1. P. 012017.
19. Walter A.V., Borovikov I.F., Savin M.F. Research on Geometrical Errors of Geokhod Prototype Shell Based on Coordinate Control Data // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing. 2016. V. 142. № 1. P. 012129.
20. Вальтер А.В. Факторы, обуславливающие погрешности поверхностей вращения крупногабаритных корпусов геохода // *Горное оборудование и электромеханика*. 2016. № 8 (126). С. 19–25.
21. Вальтер А.В., Чернухин Р.В., Капустин А.Н. Отклонения формы оболочки стабилизирующей секции геохода // *Технологии и материалы*. 2016. № 1. С. 4–7.
22. Вальтер А.В., Нозирзода Ш.С. Аналитическая модель формирования отклонений биения, возникающих при сборке корпусов геохода // *Технологии и материалы*. 2016. № 4. С. 4–8.
23. Вальтер А.В., Лагунов С.Е. Определение припуска на поверхности вращения сборных корпусных изделий геохода // *Актуальные проблемы в машиностроении*. 2015. № 2. С. 152–157.
24. Чернухин Р.В., Блащук М.Ю., Буялич Г.Д., Богодаев А.А. Определение тепловой мощности, отводимой гидробаками насосной станции геохода // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2015. № 6-2. С. 209–213.
25. Аксенов В.В., Бегляков В.Ю., Коперчук А.В., Блащук М.Ю., Садовец В.Ю., Пашков Д.А. Создание проходческих подземных аппаратов, взаимодействующих с геосредой. Области исследований // *Горное оборудование и электромеханика*. 2020. № 2 (148). С. 3–12.
26. Аксенов В.В., Хорешок А.А., Бегляков В.Ю., Пашков Д.А. Геодинамика проходческих подземных аппаратов. Геосреда, форма и поверхности // *Горное оборудование и электромеханика*. 2021. № 3 (155). С. 39–47.

Для цитирования: Аксенов В.В., Бегляков В.Ю., Садовец В.Ю., Пашков Д.А., Осипов Р.С., Измайлов И.Р. Модель взаимодействия геохода и его систем с геосредой. Необходимость реформатирования // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2023. № 1 (17). С. 19–28.

A MODEL OF INTERACTION OF A GEOKHOD AND ITS SYSTEMS WITH THE GEO-ENVIRONMENT. THE NEED FOR REFORMATTING

V.V. AKSENOV^{1,2}, Dr. Sc., V.Yu. BEGLYAKOV³, Cand. Sc,
V.Yu. SADOVETS^{2,4}, Cand. Sc, D.A. PASHKOV^{2,4}, Cand. Sc,
R.S. OSIPOV⁵, Lead Engineer, I.R. IZMAILOV⁵, Lead Engineer

¹ Institute of Coal FITZ UUH SB RAS,
10, Leningrad ave., Kemerovo, 650610, Russian Federation, e-mail: 55vva42@mail.ru

² Kuzbass State Technical University named T.F. Gorbachev,
28, Vesennaya str., Kemerovo, 650000, Russian Federation

³ Yurginsky Institute of Technology Branch of Tomsk Polytechnic University,
26, Leningradskaya str., Yurga, 652052, Russian Federation

⁴ Kuzbass State Technical University named T.F. Gorbachev, Branch in Prokopyevsk,
19a, Nogradskaya str., Kemerovo region, Prokopyevsk, 653033, Russian Federation

⁵ SC «Ural Scientific and Technological Complex»,
28A, Vostochny hwy, Nizhny Tagil, 62007, Russian Federation

The problem of reformatting the existing model for determining the parameters of a geo-pass into a model of interaction between a geo-pass and a geo-medium, taking into account the designated features, has become acute. The structure of the mathematical model of interaction of a geokhod and its systems with the geo-environment is proposed.

Keywords: mining equipment, tunneling underground apparatus, geomedia, geokhod, geokhod technology, mathematical model.

Поступила в редакцию/received: 21.10.2022; после рецензирования/revised: 11.11.2022;
принята/accepted: 18.11.2022

УДК 622.285

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ДИСПЕРГАТОРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ ГОРНЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ

А.Л. ЯБЛОНЕВ¹, д-р техн. наук, П.Б. ПАШКО², инженер

¹Тверской государственный технический университет,
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: alvovich@mail.ru

²ООО «Пик Майнинг»,
127015, Москва, ул. Большая Новодмитровская, 36, стр. 12

© Яблонев А.Л., Пашко П.Б., 2023

Эффективность работы горных гидромеханизированных крепей во многом определяется качеством рабочих жидкостей – эмульсий. Широкому использованию при их приготовлении растворимого в воде импортного эмульсола в настоящее время препятствует стоимость последнего, трудности логистического плана, а также то, что весьма большое количество горно-шахтных предприятий имеет старые, изношенные сильно горные крепи с повышенным расходом эмульсии. Для решения данной