

**Аксенов Владимир Валерьевич**<sup>1,2,3</sup>, доктор техн. наук, **Хорешок Алексей Алексеевич**<sup>4</sup>, доктор техн. наук, профессор, **Бегляков Вячеслав Юрьевич**<sup>4,5</sup>, к. т. н., доцент, **Пашков Дмитрий Алексеевич**<sup>2,4,\*</sup>, аспирант

<sup>1</sup>Научно-исследовательский центр ООО «Сибирское НПО», Россия, 650099, Кемерово, пр. Советский, 56.

<sup>2</sup>Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН, Россия, 650610, г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10.

<sup>3</sup>Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева. Филиал в г. Прокопьевск, 653033, Кемеровская обл., г. Прокопьевск, ул. Ноградская, 19а.

<sup>4</sup>Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28.

<sup>5</sup>Юргинский технологический институт филиал Томского политехнического университета, Россия, 652052, г. Юрга, ул. Ленинградская, д. 26.

\*E-mail: pashkov.d.a@inbox.ru

## **ГЕОДИНАМИКА ПРОХОДЧЕСКИХ ПОДЗЕМНЫХ АППАРАТОВ. ГЕОСРЕДА, ФОРМА И ПОВЕРХНОСТИ**

***Аннотация:** В основу создания проходческих подземных аппаратов (ПА) класса «Геоход» авторами заложен принцип представления проходки подземных выработок как процесса движения твердого тела (ПА) в твердой среде. Одним из основных структурных элементов технологического уклада освоения (формирования) подземного пространства является Геодинамика ПА. Геодинамика как наука начала обособливаться от др. наук о Земле в 1950-е гг., и до настоящего времени ведутся дискуссии в определении геодинамических терминов. Во всех известных определениях и задачах геодинамики отсутствует привязка к определению характера взаимодействия машины и геосреды. На начальном этапе создания Геодинамики ПА как науки отсутствуют (не сформулированы) специальные термины и определения, методы решения и основные уравнения. В статье определяется понятие «геосреда». По аналогии с аэродинамической формой вводится понятие «геодинамическая форма». Показан общий вид проходческого подземного аппарата класса Геоход. Приведены основные части (системы) ПА, взаимодействующие с геосредой при его движении, и представлены их назначения. У геосреды в результате взаимодействия с системами ПА (на их контакте) не только формируется новая форма, но и образуются специфические поверхности. Каждая поверхность геосреды имеет свое назначение. При изучении взаимодействия геосреды с системами ПА предлагается применять принцип обращения движения. В заключении сформулированы основные задачи Геодинамики ПА.*

***Ключевые слова:** геодинамика подземных аппаратов, геосреда, геотехника, геоходостроение, промышленный уклад.*

***Информация о статье:** принята 31 мая 2021 г.*

*DOI: 10.26730/1816-4528-2021-3-39-47*

В основу создания проходческих подземных аппаратов (ПА) класса «Геоход» авторами заложен принцип представления проходки подземных выработок как процесса движения твердого тела (ПА) в твердой среде [1-3].

Приконтурный массив при этом используется:

– как опорный элемент, участвующий в создании движущей силы подземного аппарата, в т.ч. для формирования напорного усилия на исполнительном органе;

– для восприятия реактивных усилий при движении проходческого агрегата (подземного аппарата);

– для выполнения основных технологических операций, включая и крепление выработки постоянной крепью.

При обосновании необходимости создания и определении структуры перспективного технологического уклада освоения (формирования) подземного пространства на базе опережающего развития новых подходов в строительной геотехнологии и геотехнике нами в полной мере был учтен опыт и достоинства **сквозного технологического уклада, созданного в авиастроении** [4-6].

Ключевым структурным элементом технологического уклада в авиастроении, где полет самолета изначально рассматривается как процесс движения твердого тела (летательного аппарата – ЛА) в воздушной среде, является **Аэродинамика летательных аппаратов** [7-9].

Аэродинамика ЛА как наука включает в себя основы двух самостоятельных наук: **аэродинамики и**

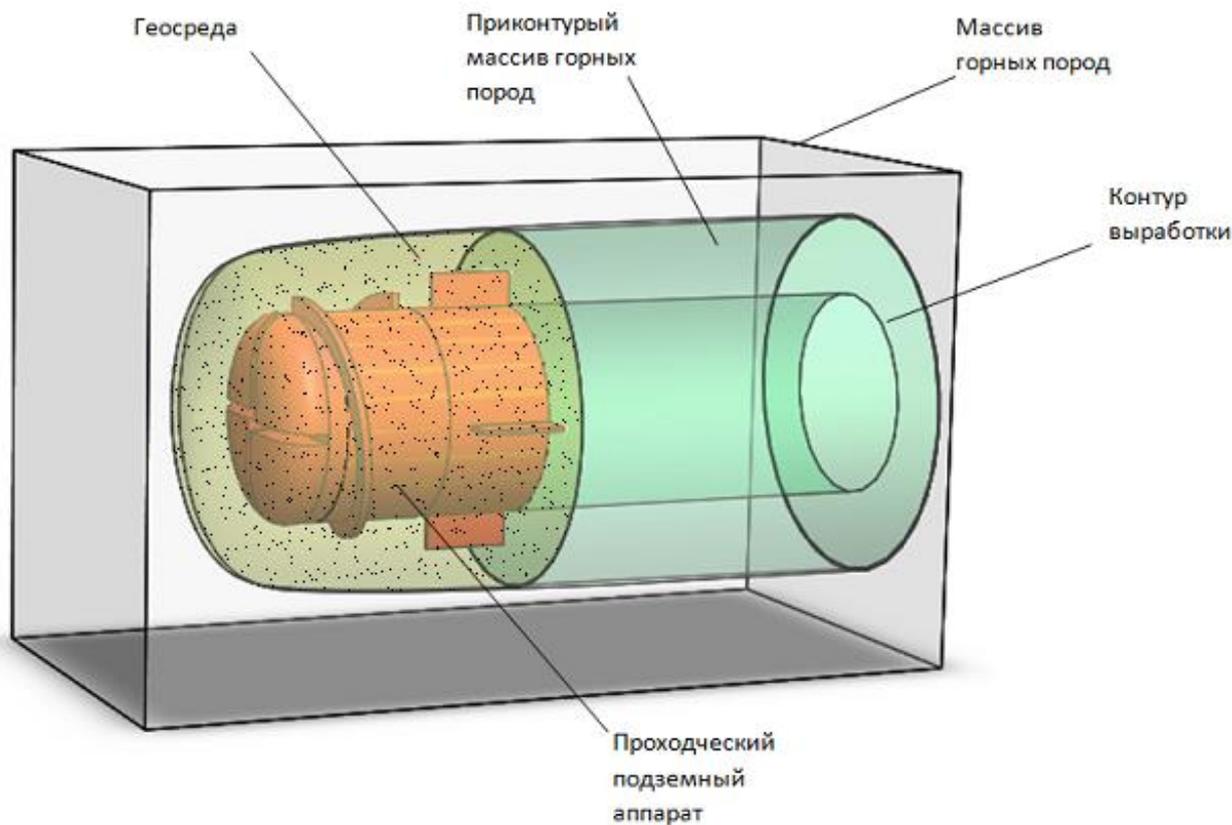


Рис. 1. Проходческий подземный аппарат при проходке выработки  
 Fig. 1. Tunneling underground apparatus for sinking workings

динамики полета [10-15]. Основными задачами, решаемыми аэродинамикой, являются:

- определение сил и моментов, действующих на ЛА и его элементы в тех или иных условиях полета [16-18];

- выбор рациональной внешней формы ЛА.

**Динамика полета** – наука о движении ЛА. Основная задача динамики полета – выявление закона движения ЛА под действием заданной системы сил и моментов [19].

Следует отметить, что, начав свое становление в начале XVI века, бурное развитие аэродинамика получила начиная с первых лет XX столетия [20-24], с появлением новой отрасли техники – авиации. За время своего становления и развития аэродинамика определилась с терминами, определениями согласно ГОСТ 23281-78 и ГОСТ 20058-80 и основными уравнениями [10-24]:

- уравнение состояния идеального газа;
- уравнение постоянства расхода для элементарной струйки;
- уравнение Бернулли для несжимаемого и сжимаемого потоков.

Геодинамика ПА является одним из основных структурных элементов технологического уклада освоения (формирования) подземного пространства [4-6]. В работе [4] предложена формула и области исследований научной специальности «Геодинамика ПА».

**Геодинамика ПА** как наука, по аналогии с аэродинамикой ЛА, должна включать в себя основы двух самостоятельных наук: геодинамики и динамики движения ПА. Но если с динамикой движения ПА все понятно – это наука о движении ПА и основная задача динамики движения ПА – выявление закона движения ПА под действием заданной системы сил и моментов, то с Геодинамикой...

Геодинамика как наука начала обособливаться от др. наук о Земле в 1950-е гг. [25-27], и до настоящего времени ведутся дискуссии в определении геодинамических терминов [28]. Ниже приведены лишь некоторые определения **Геодинамики**, встречающиеся в специальной литературе:

- Раздел геологии, изучающий природу глубинных сил и процессов, возникающих в результате планетарной эволюции Земли, и обуславливающих движение вещества внутри планеты.

- Наука о глубинных силах и процессах, возникающих в результате эволюции Земли как планеты и определяющих движение масс вещества и энергии внутри Земли и в ее внешних твердых оболочках. Объекты исследования геодинамики недоступны непосредственному изучению и о них удастся судить по косвенным признакам, теоретическим построениям и результатам их проявления на поверхности Земли.

- Научная дисциплина, изучающая движения, происходящие в земной коре, мантии и ядре, и причины этих движений [28].

Основной задачей геодинамики по определению Д. Деркота и Дж. Шуберга [30-32] является изучение движения и деформации, происходящих в земной коре, мантии и ядре, и причин таких движений и деформаций.

Во всех известных определениях и задачах геодинамики отсутствует привязка к определению характера взаимодействия машины и геосреды.

По аналогии с аэродинамикой сформулируем основные задачи, которые должна решать **геодинамика по отношению к ПА:**

– определение сил и моментов, действующих на ПА и его элементы в тех или иных условиях движения;

– выбор рациональной внешней формы ПА.

**Решение подобного типа задач в современной геодинамике не рассматривается.** Как следствие, отсутствуют (не сформулированы) специальные термины и определения, методы решения и основные уравнения. Поэтому на начальном этапе создания Геодинамики ПА как науки необходимо определиться с первоочередными терминами и определениями.

На рисунке 1 показан проходческий подземный аппарат класса геоход<sup>1</sup> при проходке выработки. На примере рисунка 1 определим понятие «геосреда».

#### **Геосреда**

##### **Основные понятия и определения**

В нашем понимании, в рамках поставленных задач, **Геосреда** – это приконтурный *массив горных пород*, охватывающий проходческий подземный аппарат при его движении.

Для определения термина *геосреда* использовано понятие *массив горных пород*, сформулированное в учебнике «Механические процессы в породных массивах» [31, 32].

**Массив горных пород (породный массив)** – связанная часть земной коры, сложенная одной или несколькими *литологическими разностями*, в пределах которой локализуются все *механические процессы*, обусловленные горными работами.

Где **Литологическая разность** – часть земной коры, сложенная одноименной горной породой.

Тогда приведенное выше понятие «геосреда» в развернутом виде следует понимать так:

Геосреда – это связанная часть земной коры, охватывающая проходческий подземный аппарат при его движении, в пределах которой локализуются механические процессы, обусловленные движением подземного аппарата.

**Механические свойства горной породы (массива горных пород)** – это класс физических свойств, характеризующий поведение горной породы (массива горных пород) в условиях различных механических воздействий.

<sup>1</sup> Проходческие подземные аппараты класса геоход – это аппараты, движущиеся в породном массиве с использованием геосреды. Представляя собой новый класс горных машин, геоходы предназначены для проходки подземных

При этом свойства породы обычно определяют исследованием образца. А образец массива, особенно сложенный из нескольких литологических зон, обычно технически недоступен.

**Геомеханические процессы**, или механические процессы в горных породах и массивах горных пород, – это механические процессы деформирования, перераспределения напряжений и разрушения.

Процесс по определению – это смена состояний, или переход из начального состояния в конечное через череду текущих состояний.

**Геомеханическое состояние** – это совокупность показателей, характеризующих деформируемость, прочность и устойчивость массива при определенном силовом воздействии, т.е. характеризующих уровень развития геомеханических процессов деформирования, перераспределения напряжений и разрушения.

Таким образом, **геосреда** обладает механическими свойствами горной породы и приконтурного массива горных пород в условиях не только различных геомеханических воздействий, обусловленных горными работами, но и механических воздействий проходческого подземного аппарата при его работе (движении).

Число физических и механических свойств горных пород, проявляющихся в их взаимодействии с другими объектами, может быть сколь угодно велико. Только по природе внешнего воздействия условно выделяют 6 классов (плотностные, механические, горнотехнологические, тепловые, электромагнитные, радиационные), которые делятся более чем на 10 групп [33].

Показатели физических и механических свойств скальных и нескальных грунтов (горных пород) между собой довольно сильно разнятся.

Для широкого круга горных пород среднее значение отношения  $\sigma_{сж}/\sigma_p$  находится в интервале 8-10 [26, 33-35].

Но, несмотря на специфичность силового взаимодействия геосреды и движущегося в ней твердого тела, задачи по определению характера и параметров такого взаимодействия решаются методами классической (общей) механики. Многие процессы, происходящие при таком взаимодействии (трение, деформация среды, перенос материала и др.), рассматриваются с некоторыми допущениями. Большинство этих допущений сформировались при разработке методик расчета машин и механизмов, строительных конструкций; возможно, эти допущения и обеспечивают достаточную точность (детерминированность) при решении задач расчета машин и сооружений, но применение этих допущений применительно к движению ПА в геосреде дает значительные погрешности. Формирование исходных данных

выработок различного назначения и расположения в пространстве.

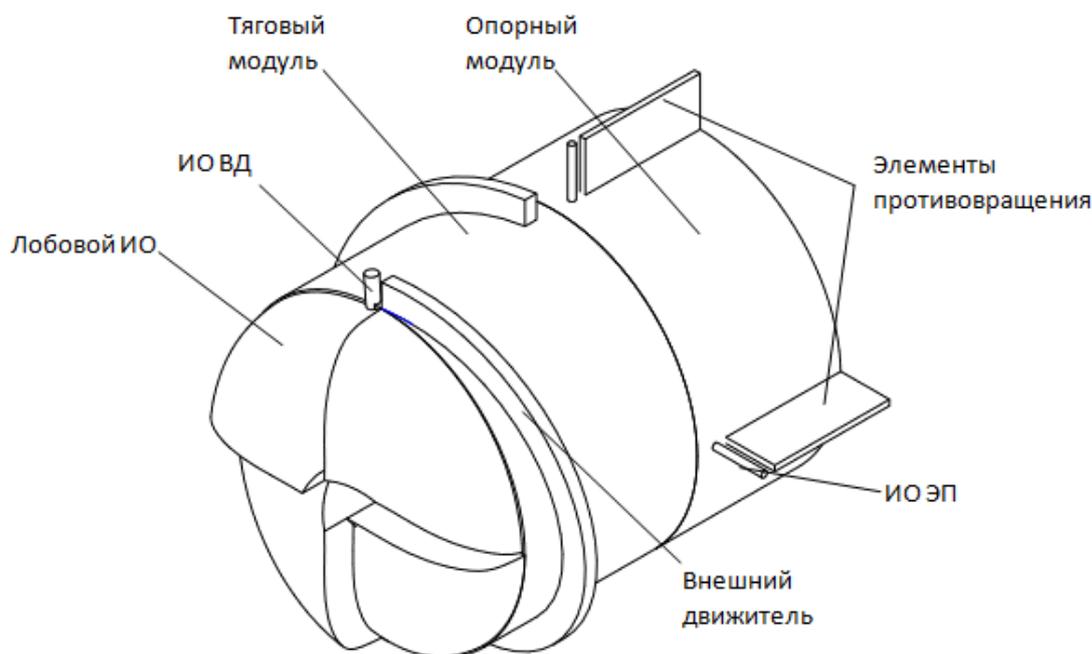


Рис. 2. Общий вид проходческого подземного аппарата класса Геоход  
 Fig. 2. General view of the tunnel of the underground apparatus of the class Geokhod

и результаты решений носят вероятностный (стохастический) характер.

Геосреда не только гораздо более многообразна и многогранна в своих свойствах и проявлениях по сравнению с воздушной или жидкой средами, но в отличие от последних обладает формой, размерами и находится в постоянно изменяющемся напряженно-деформированном состоянии (НДС).

При взаимодействии твердого тела со средой неизбежно формирование поверхности взаимодействия (ПВ).

Понятие (ПВ) применимо для всех сред: газообразной, жидкой и твердой.

Но в жидкой и газообразной средах ПВ полностью определяется поверхностью тела, движущегося в среде. В определениях газа и жидкости есть общая черта: «принимают форму сосуда». В нашем случае – принимают форму взаимодействующего тела.

Для процесса движения твердого тела в твердой среде имеют место две действительных поверхности: поверхность движущегося тела и поверхность среды, форма и размеры которых могут не совпадать, пожалуй, даже зачастую не могут совпадать.

Возможно два крайних проявления процесса движения твердого тела в твердой среде:

– Движение с одновременным формированием среды, т.е. процесс разрушения или движение в сыпучей среде.

– Движение с опиранием на предварительно сформированную поверхность среды.

В первом случае, т.е. с одновременным формированием среды, можно считать, что ПВ определяется движущимся телом, но не только его формой и

размерами (как в жидкой и газообразной средах), а также и траекторией.

Во втором случае, т.е. с предварительным формированием поверхности среды, ПВ – это комплекс двух неодинаковых поверхностей. Что именно в этом случае можно считать ПВ, каковы ее форма и характеристики, нужно еще определить.

Существует сложившееся словосочетание «аэродинамическая форма», но, по сути, при употреблении этого словосочетания речь идет об аэродинамических характеристиках. Нельзя определить, какая форма является аэродинамической, а какая нет. Можно сравнивать и оценивать параметры форм применительно к их взаимодействию со средой и уровню соответствия формы решаемым задачам, т.е. пуля или парашют.

По аналогии с аэродинамической формой предлагается ввести понятие «геодинамическая форма», смысл которого заключается в уровне соответствия формы поставленным задачам, т.е. комплексу характеристик, определяющих картину силового взаимодействия твердого тела (подземного аппарата или его элемента) в твердой среде.

При этом, в отличие от движения в подвижных средах, имеют место две поверхности – поверхность тела и поверхность среды.

На рисунке 2 показан общий вид проходческого подземного аппарата класса Геоход. Основными частями (системами) ПА, взаимодействующими с геосредой при его движении, являются:

- лобовой исполнительный орган;
- корпус тягового модуля;
- корпус опорного модуля;
- внешний движитель;
- исполнительный орган внешнего движителя;

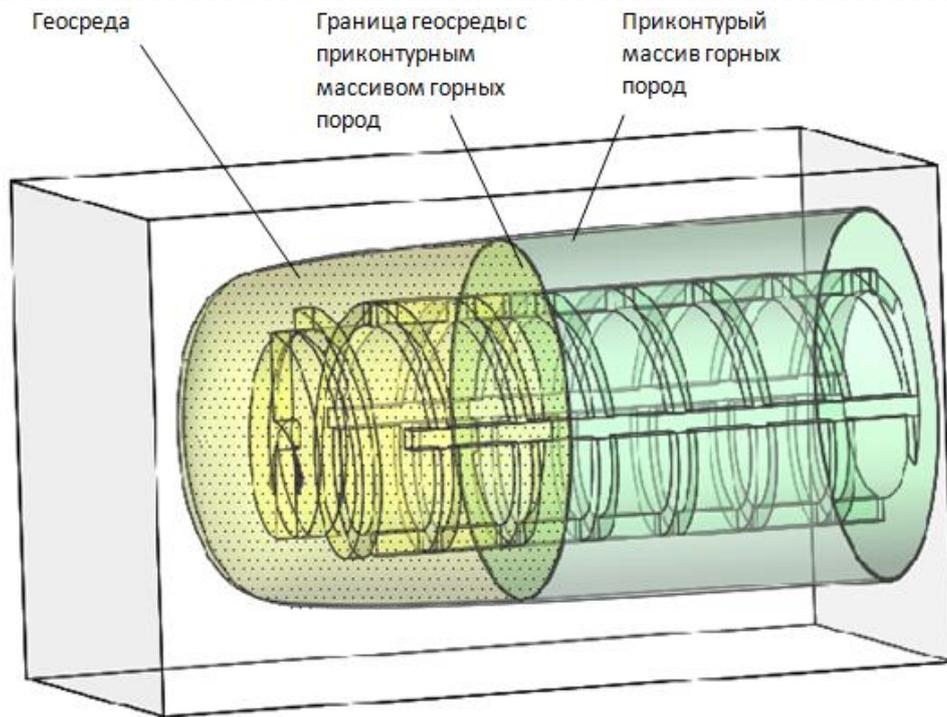


Рис. 3. Общий вид поверхностей геосреды во время взаимодействия с ПА и приконтурного массива горных пород после прохода ПА

Fig. 3. General view of the surfaces of the geomedium during interaction with the UA and the contiguous rock mass after passing through the UA

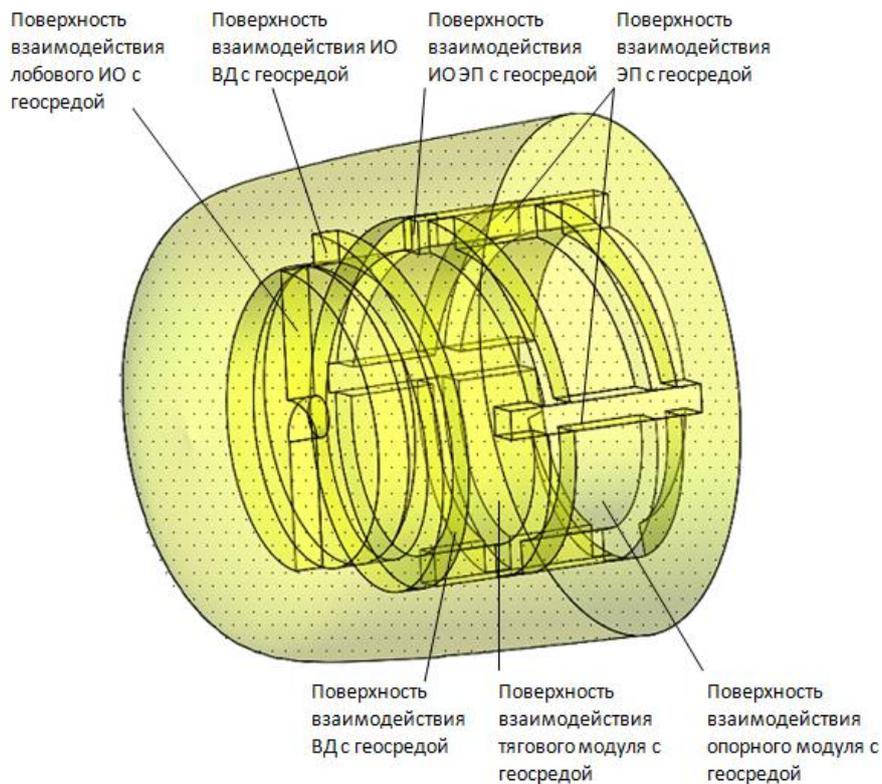


Рис. 4. Поверхности геосреды, образуемые во время взаимодействия с ПА

Fig. 4. The surface of the geomedium formed during interaction with UA

– элементы противовращения (крыло);  
– исполнительные органы элементов противовращения.

Лобовой исполнительный орган ПА (ИО ПА) предназначен для преодоления фронтального сопротивления.

тивления геосреды и формирования в ней пространства для движения корпусов тягового и опорного модуля ПА.

Корпус тягового модуля – подвижная сборная металлическая конструкция, обеспечивающая безопасное движение ПА при проведении подземной выработки. Предназначен для размещения внутри оборудования, а на наружной поверхности – внешнего движителя и его ИО.

Корпус опорного модуля – подвижная сборная металлическая конструкция, обеспечивающая безопасное движение ПА при проведении подземной выработки. Предназначен для размещения внутри оборудования, а на наружной поверхности – элементов противовращения (крыльев) и их ИО.

Внешний движитель (ВД) предназначен для создания силы тяги и напорного усилия на всех ИО ПА.

Исполнительный орган внешнего движителя (ИО ВД) предназначен для преодоления сопротивления геосреды и формирования в ней пространства (винтового канала) для движения внешнего движителя.

Элементы противовращения (ЭП) – крыло, предназначены для восприятия реактивного момента при движении ПА.

Исполнительные органы элементов противовращения (ИО ЭП) предназначены для преодоления сопротивления геосреды и формирования в ней пространства (продольных каналов) для движения элементов противовращения.

У каждой системы свое назначение и, что самое главное, свой характер взаимодействия с геосредой [36]. Как следствие, у геосреды в результате взаимодействия с системами ПА (на их контакте) не только формируется новая форма, но и образуются специфические поверхности. Каждая поверхность геосреды имеет свое назначение.

### **Геодинамическая форма поверхности геосреды**

#### **Принцип обращения движения**

В аэродинамике при изучении взаимодействия воздуха с движущимися в нем телами часто для удобства используют принцип обращения движения, который заключается в том, что рассматривают не полет ЛА в неподвижном воздухе, а обтекание неподвижного ЛА набегающим потоком воздуха. При этом скорость набегающего потока равна по величине скорости полета ЛА, но противоположна по направлению. Такое обращение движения не изменяет силовое и тепловое взаимодействие аппарата и воздуха [14].

При изучении взаимодействия геосреды с системами ПА также применим принцип обращения движения. В нашем случае будем рассматривать не процесс движения ПА в неподвижной геосреде, а охватывание ПА надвигающейся на него геосредой.

На рисунке 3 представлен общий вид поверхностей геосреды во время взаимодействия с ПА и при контурного массива горных пород после прохода

ПА. Непосредственно поверхности геосреды, образующиеся во время взаимодействия с ПА, приведены на рисунке 4.

Для снижения сил сопротивления движения ПА в геосреде важна не только рациональная внешняя форма ПА и его систем, но и рациональная форма поверхности геосреды – **Геодинамическая форма поверхности**.

Резюмируя, сформулируем **основные задачи Геодинамики ПА**:

- определение сил и моментов, действующих на ПА и его элементы в тех или иных условиях движения;
- выбор рациональной внешней формы ПА;
- выбор рациональной (**Геодинамической**) формы поверхности геосреды;
- выявление закона движения ПА под действием заданной системы сил и моментов.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Садовец В.Ю., Резанова Е.В. Создание инновационного инструментария для формирования подземного пространства // Вестник Кузбасского государственного технического университета / Кемерово, 2010. № 1. С. 42-47.
2. 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 1. Предпосылки и основные положения // Вестник Кузбасского государственного технического университета / Кемерово. – 2018. – № 4 (128). – С. 105-114.
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 / Кемерово. – 2018. – № 5 (129). – С. 43-52.
4. 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 / Кемерово. – 2020. – № 2 (138). – С. 31-41.
5. Аксенов В.В., Бегляков В.Ю., Коперчук А.В., Блашук М.Ю., Садовец В.Ю., Пашков Д.А. Создание проходческих подземных аппаратов, взаимодействующих с геосредой. Области исследований // Горное оборудование и электромеханика / Кемерово. – 2020. – № 2 (148). – С. 3-12.
6. Аксенов В.В., Магазов С.В., Хорешок А.А., Бегляков В.Ю., Коперчук А.В., Пашков Д.А. Центр испытаний проходческих подземных

аппаратов, взаимодействующих с геосредой. Области исследований // Горное оборудование и электромеханика – 2020. – № 4 (150). – С. 65-70.

7. Байдаков, В.Б., Клумов А.С. Аэродинамика и динамика полета летательных аппаратов. Рипол Классик, 1979.

8. Пышнов В. Аэродинамика самолета. – Рипол Классик, 2013.

9. Петров, К. П. Аэродинамика тел простейших форм. М.: Факториал, 1998.

10. Остославский, И. В. «Аэродинамика самолета». М.: Оборонгиз 1957.

11. Краснов Н.Ф. Аэродинамика. – URSS, 2010.

12. Седов, Г.А. Летчику о практической аэродинамике. Рипол Классик, 1961.

13. Альтшуль, А.Д. Гидравлика и аэродинамика: учебник для вузов/А.Д. Альтшуль, Л.С. Животовский, Л.П. Иванов. – М.: Стройиздат, 1987. – 414 с.

14. Ефимов В.В. Основы авиации. Часть I. Основы аэродинамики и динамики полета летательных аппаратов: Учебное пособие. – М.: МГТУ ГА, 2003. – 64 с.

15. Никитин Г.А., Баканов Е.А. Основы авиации: Учебник для вузов гражданской авиации. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1984. – 261.

16. Аэромеханика: Учеб. для студентов вузов / В.М. Гарбузов, А.Л. Ермаков, М.С. Кубланов, В.Г. Ципенко. – М.: Транспорт, 2000 – 287 с.

17. Аэромеханика самолета: Динамика полета: Учебник для авиационных вузов / А.Ф. Бочкарев, В.В. Андреевский, В.М. Белоконов и др.; Под ред. А.Ф. Бочкарева и В.В. Андреевского. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985 – 360 с., ил.

18. Аэродинамика летательных аппаратов: Учебник для вузов по специальности «Самолетостроение» / Г.А. Колесников, В.К. Марков, А.А. Михайлюк и др.; Под ред. Г.А. Колесникова. – М.: Машиностроение, 1993 – 544 с.; ил.

19. Стариков Ю.Н., Коврижных Е.Н. Основы аэродинамики летательного аппарата: Учеб. пособие. – Ульяновск: УВАУ ГА, 2004. – 151 с.

20. Аэродинамика и самолетостроение: учеб. пособие / [В.В. Бирюк и др.]. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2018 – 180 с.: ил.

21. Григорьев Н.Г. Основы аэродинамики и динамики полета: Учебник. — Москва: Машиностроение, 1995. – 400 с.

22. Кокунина Л.Х. Основы аэродинамики. Транспорт. Москва, 1982.

23. Прицкер Д.М. Сахаров Г.И. Аэродинамика. Машиностроение. Москва, 1968.

24. Основы аэродинамики и динамика полета транспортных самолетов. Транспорт. Москва, 1997.

25. Хаин, В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. М.: КДУ, 2005.

26. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. – Наука, 1964.

27. Баклашов, И.В. Геомеханика. Т. 2. Геомеханические процессы: учебник для вузов / Баклашов И.В., Картозия Б.А., Шашенко А.Н., Борисов В.Н. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004. – 249 с. – ISBN 5-7418-0326-1.

28. Кузьмин Ю.О., Жуков В.С. Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород 2-е Изд., стер. – М.: Горная книга, 2012. – 264 с. – ISBN 978-5-98672-327-3.

29. Теркот Д., Шуберт Дж. Геодинамика: Геологические приложения физики сплошных сред, том 1. Пер. с англ., Москва, Изд-во Мир, 1985, 376 с.

30. Теркот Д., Шуберт Дж. Геодинамика: Геологические приложения физики сплошных сред. Том 2 Пер. с англ. – Москва: Мир, 1985. – 360 с.

31. Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механические процессы в породных массивах. – М.: Недра, 1986 г.

32. Баклашов И.В. Геомеханика: Учебник для вузов. Том 1. Основы геомеханики М.: МГГУ, 2004. – 208 с. – ISBN 5-7418-0327-X, ISBN 5-7418-0325-3 (Т. 1).

33. Ржевский В.В. Новик Г.Я. Основы физики горных пород Изд. 3-е. перераб. и доп. — М.: Недра, 1978. – 390 с.

34. Козырев, А.А. Введение в геофизику / А.А. Козырев, Я.А. Сахаров, Н.В. Шаров – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2000. – 116 с.

35. Кочарян, Г.Г. Динамика деформирования блочных массивов горных пород / Г.Г. Кочарян, А.А. Спивак – М.: ИКЦ Академкнига, 2003. – 424 с.

36. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Резанова Е.В. Синтез технических решений нового класса горнопроходческой техники // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2009. № 8. С. 56-63.

**Vladimir V. Aksenov<sup>1,2,3</sup>, Dr. Sc. in Engineering, Alexei A. Khoreshok<sup>4</sup>, Dr.Sc. in Engineering, Professor, Vyacheslav Yu. Beglyakov<sup>4,5</sup>, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Dmitry A. Pashkov<sup>2,4,\*</sup>, graduate student**

<sup>1</sup>Scientific and research centre LLC "Siberian Research and Production Association", 650099, Sovetsky Av. 56, Kemerovo, Russia

<sup>2</sup>Institute of Coal of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry, Siberian Branch of the RAS, 650610, 10 Leningradsky Av, Kemerovo, Russia

<sup>3</sup>T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Prokopievsk branch, Nogradskaya str. 19a,

Prokopievsk, 653039.

<sup>4</sup>T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, 28 Vesennaya St., Kemerovo, Russia

<sup>5</sup>Yurga Technological Institute Branch of Tomsk Polytechnic University, 652052 Leningradskaya Str. 26, Yurga, Russia

\*E-mail: pashkov.d.a@inbox.ru

## GEODYNAMICS OF UNDERGROUND APPARATUSES. THE FORMULA IS A SPECIALTY, RESEARCH

**Abstract:** Based on the creation of underground tunneling systems (PAS) class "Geokhod", the authors of the principle of representation sinking underground workings as a process of motion of a rigid body (PA) in a solid medium. One of the main structural elements of the technological structure of the development (formation) of underground space is the Geodynamics of the PA. Geodynamics, as a science, began to separate from other Earth sciences in the 1950s and there are still discussions in the definition of geodynamic terms. In all known definitions and problems of geodynamics, there is no binding to the definition of the nature of the interaction between the machine and the geo-environment. At the initial stage of the creation of Geodynamics of the PA as a science, there are no (not formulated) special terms and definitions, methods of solving and basic equations. The article defines the concept of "geo-environment". By analogy with the aerodynamic shape, the concept of "geodynamic shape" is introduced. Shows a General view of the tunnel of the underground apparatus of the class Geokhod. The main parts (systems) of the PA that interact with the geomedium during its movement are presented, and their purposes are presented. In the geomedium, as a result of interaction with PA systems (at their contact), not only a new shape is formed, but also specific surfaces are formed. Each surface of the geomedium has its own purpose. When studying the interaction of the geomedium with PA systems, it is proposed to apply the principle of motion reversal. The main problems of Geodynamics of the PA are formulated in the article.

**Keywords:** Geodynamics of underground apparatuses, Geomedium, Geotechnics, Geokhod engineering, Industrial way.

**Article info:** received April 16, 2021

DOI: 10.26730/1816-4528-2021-3-39-47

### REFERENCES

1. Aksenov V.V., Yefremenkov A.B., Sadovets V.Yu., Rezanova Ye.V. Sozdaniye innovatsionnogo instrumentariya dlya formirovaniya podzemnogo prostranstva // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta / Kemerovo, 2010. № 1. S. 42-47.

2. Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Beglyakov V.Yu. Kontsepsiya sozdaniya perspektivnogo tekhnologicheskogo uklada formirovaniya (osvoyeniya) podzemnogo prostranstva na baze operezhayushchego razvitiya novykh podkhodov v stroitel'noy geotekhnologii i geotekhnike. Chast' 1. Predposylki i osnovnyye polozheniya // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta / Kemerovo. – 2018. – № 4 (128). – S. 105-114.

3. Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Beglyakov V.Yu. Kontsepsiya sozdaniya perspektivnogo tekhnologicheskogo uklada formirovaniya (osvoyeniya) podzemnogo prostranstva na baze operezhayushchego razvitiya novykh podkhodov v stroitel'noy geotekhnologii i geotekhnike. Chast' 2 // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta / Kemerovo. – 2018. – № 5 (129). – S. 43-52.

4. Aksenov V.V., Magazov S.V., Khoreshok A.A., Beglyakov V.Yu., Sadovets V.Yu., Pashkov

D.A. Geodinamika podzemnykh apparatov. Formula spetsial'nosti, oblasti issledovaniy // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta / Kemerovo. – 2020. – № 2 (138). – S. 31-41.

5. Aksenov V.V., Beglyakov V.Yu., Koperchuk A.V., Blashchuk M.Yu., Sadovets V.Yu., Pashkov D.A. Sozdaniye prokhdcheskikh podzemnykh apparatov, vzaimodeystvuyushchikh s geosredoy. Oblasti issledovaniy // Gornoye oborudovaniye i elektromekhanika / Kemerovo. – 2020. – № 2 (148). – S. 3-12.

6. Aksenov V.V., Magazov S.V., Khoreshok A.A., Beglyakov V.Yu., Koperchuk A.V., Pashkov D.A. Center for testing tunneling underground apparatus interacting with the geo-environment. Areas of research. Mining Equipment and Electromechanics, 2020, no.4 (150), pp. 65-70.

7. Baydakov, V.B., Klumov A.S. Aerodinamika i dinamika polota letatel'nykh apparatov. Ripol Klassik, 1979.

8. Pyshnov V. Aerodinamika samoleta. – Ripol Klassik, 2013.

9. Petrov, K.P. Aerodinamika tel prosteyshikh form. M.: Faktorial, 1998.

10. Ostoslavskiy, I.V. «Aerodinamika samoleta» M.: Oborongiz 1957.

11. Krasnov N.F. Aerodinamika. – URSS, 2010.

12. Sedov, G.A. Lotchiku o prakticheskoy aerodinamike. Ripol Klassik, 1961.
13. Al'tshul', A.D. Gidravlika i aerodinamika: uchebnik dlya vuzov/A.D. Al'tshul', L.S. Zhivotovskiy, L.P. Ivanov. -M.: Stroyizdat, 1987. – 414 s.
14. Yefimov V.V. Osnovy aviatsii. Chast' I. Osnovy aerodinamiki i dinamiki poleta leta-tel'nykh apparatov: Uchebnoye posobiye. – M.: MGTU GA, 2003 – 64 s.
15. Nikitin G.A., Bakanov Ye.A. Osnovy aviatsii: Uchebnik dlya vuzov grazhdanskoy aviatsii. – 2-ye izd., pererab. i dop. – M.: Transport, 1984 – 261.
16. Aeromekhanika: Ucheb. dlya studentov vuzov / V.M. Garbuzov, A.L. Yermakov, M.S. Kublanov, V.G. Tsipenko. – M.: Transport, 2000 – 287 s.
17. Aeromekhanika samoleta: Dinamika poleta: Uchebnik dlya aviatsionnykh vuzov / A.F. Bochkarev, V.V. Andreyevskiy, V.M. Belokonov i dr.; Pod red. A.F. Bochkareva i V.V. Andreyevskogo. 2-ye izd. pererab. i dop. – M.: Mashinostroyeniye, 1985 – 360 s., il.
18. Aerodinamika letatel'nykh apparatov: Uchebnik dlya vuzov po spetsial'nosti «Samoletostroyeniye» / G.A. Kolesnikov, V.K. Markov, A.A. Mikhaylyuk i dr.; Pod red. G.A. Kolesnikova. – M.: Mashinostroyeniye, 1993 – 544 s.; il.
19. Starikov Yu.N., Kovrizhnykh Ye.N. Osnovy aerodinamiki letatel'nogo apparata: Ucheb. posobiye. – Ul'yanovsk: UVAU GA, 2004. – 151 s.
20. Aerodinamika i samoletostroyeniye: ucheb. posobiye / [V.V. Biryuk i dr.]. – Samara: Izd-vo Samarskogo universiteta, 2018 – 180 s.: il.
21. Grigor'yev N.G. Osnovy aerodinamiki i dinamiki poleta: Uchebnik. — Moskva: Mashinostroyeniye, 1995. — 400 s.
22. Kokunina L.Kh. Osnovy aerodinamiki. Transport. Moskva, 1982.
23. Pritsker D.M. Sakharov G.I. Aerodinamika. Mashinostroyeniye. Moskva, 1968.
24. Osnovy aerodinamiki i dinamika poleta transportnykh samoletov. Transport. Moskva, 1997

#### Библиографическое описание статьи

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.

25. Khain, V.E., Lomize M.G.. Geotektonika s osnovami geodinamiki. M.: KDU, 2005.
26. Rzhnevskiy V.V., Novik G. Ya. Osnovy fiziki gornyx porod. – Nauka, 1964.
27. Baklashov, I.V. Geomekhanika. T. 2. Geomekhanicheskiye protsessy: uchebnik dlya vuzov / Baklashov I. V., Kartoziya B. A., Shashenko A.N., Borisov V.N. - M: Izdatel'stvo Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta, 2004. – 249 s. – ISBN 5-7418-0326-1.
28. Kuz'min Yu.O., Zhukov V.S. Sovremennaya geodinamika i variatsii fizicheskikh svoystv gornyx porod 2-ye IZD., ster. — M.: Gornaya kniga, 2012. — 264 s. — ISBN 978-5-98672-327-3
29. Terkot D., Shubert Dzh. Geodinamika: Geologicheskiye prilozheniya fiziki sploshnykh sred, tom 1 Per. s angl., Moskva, Izd-vo Mir, 1985, 376 s.
30. Terkot D., Shubert Dzh. Geodinamika: Geologicheskiye prilozheniya fiziki sploshnykh sred. Tom 2 Per. s angl. – Moskva: Mir, 1985. — 360 s.
31. Baklashov I.V., Kartoziya B.A. Mekhanicheskiye protsessy v porodnykh massivakh. –M.: Nedra, 1986g
32. Baklashov I.V. Geomekhanika: Uchebnik dlya vuzov. Tom 1. Osnovy geomekhaniki M.: MGGU, 2004. – 208 s. – ISBN 5-7418-0327-KH, ISBN 5-7418-0325-3 (T. 1).
33. Rzhnevskiy V.V. Novik G.Ya. Osnovy fiziki gornyx porod Izd. 3-ye. pererab. i dop. — M.: Nedra, 1978. – 390 s.
34. Kozyrev, A.A. Vvedeniye v geofiziku / A.A. Kozyrev, Ya.A. Sakharov, N.V. Sharov - Apati-ty: Izd-vo KNTS RAN, 2000. - 116 s.
35. Kocharyan, G.G. Dinamika deformirovaniya blochnykh massivov gornyx porod / G.G. Kocharyan, A.A. Spivak - M.: IKTS Akademkniga, 2003. - 424 s.
36. Aksekov V.V., Sadovets V.Yu., Rezanova Ye.V. Sintez tekhnicheskikh resheniy novogo klassa gornoprokhodcheskoy tekhniki // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal. 2009. № 8. S. 56-63.

#### Reference to article

Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Beglyakov V.Yu.4,5, Pashkov D.A. Geodynamics of underground apparatuses. The formula is a specialty, research. Mining Equipment and Electromechanics, 2021, no.3 (155), pp. 39-47.

# ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА



**3** (155) ♦ **2021**

# ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

3(155)  
2021

Основан в 2000 году

Выходит 6 раз в год

ISSN 1816-4528

**Главный редактор:**

Хорешок А.А., д.т.н., проф.

**Зам. гл. редактора:**

Лагунова Ю.А., д.т.н., проф.

Кантович Л.И., д.т.н., проф.

**Редакционный совет:**

Трубецкой К.Н., акад. РАН, д.т.н.

Галкин В.А., д.т.н.

Мерзляков В.Г., д.т.н., проф.

Блюменштейн В.Ю., д.т.н., проф.

Аксенов В.В., акад. АГН, д.т.н.

**Редакционная коллегия:**

Андреева Л.И., д.т.н.

Воронова Э.Ю., д.т.н., проф.

Галкин В.И., д.т.н., проф.

Глебов А.В., к.т.н.

Егоров А.Н. (Белоруссия)

Жабин А.Б., д.т.н., проф.

Зырянов И.В., д.т.н.

Ляхомский А.В., д.т.н., проф.

Певзнер Л.Д., д.т.н., проф.

Петров В.Л., д.т.н., проф.

Семькина И.Ю., д.т.н., проф.

Трифанов Г.Д., д.т.н., проф.

Хазанович Г.Ш., д.т.н., проф.

Юнгмейстер Д.А., д.т.н., проф.

**Учредитель и издатель:**

ФГБОУ ВО «Кузбасский  
государственный технический  
университет имени Т.Ф. Горбачева»

**Адрес учредителя, издателя и  
редакции:**

650000, Россия, Кемеровская область,  
г. Кемерово, ул. Весенняя 28

**Технический редактор:**

Останин О.А.

**Дизайн обложки, компьютерная  
верстка:**

Бородин Д.А.

**Телефон редакции:**

+7 (384-2) 39-63-14

**Email:** gormash@kuzstu.ru

Сайт: http://gormash.kuzstu.ru

**СОДЕРЖАНИЕ**

**ГОРНЫЕ МАШИНЫ**

<b>Панасенков Д.А., Зайцев А.П., Карташов А.Б., Пикалов Н.А., Дубинкин Д.М.</b> Расчет гидромеханических потерь и моделирование кавитации в каналах гидравлического блока карьерного автосамосвала .....	3
<b>Дубинкин Д.М., Пашков Д.А., Архипский Н.А.</b> Обоснование конструктивного решения трансмиссии автономного карьерного самосвала грузоподъемностью до 90 тонн .....	12
<b>Дубов Г.М., Богомоллов А.Р., Азиханов С.С., Григорьева Е.А., Нохрин С.А.</b> Исследование расходных и температурных характеристик карьерных самосвалов БелАЗ-75131, работающих в газодизельном режиме .....	20
<b>Трухманов Д.С., Дубов Г.М., Чегошев А.А., Ельцов И.Е., Нохрин С.А.</b> Методология оценки технико-экономических показателей криогенных бортовых топливных систем карьерных самосвалов БелАЗ, потребляющих в качестве моторного топлива СПГ .....	32
<b>Аксенов В.В., Хорешок А.А., Бегляков В.Ю., Пашков Д.А.</b> Геодинамика проходческих подземных аппаратов. Геосреда, форма и поверхности .....	39
<b>Жабин А.Б., Лавит И.М., Керимов З.Э.</b> Результаты исследований взаимодействия бойка и инструмента при ударном разрушении горных пород .....	48

**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ**

<b>Захаров С.А., Лебедев Г.М., Захарова Р.В.</b> Анализ аварийной статистики энергетических предприятий Кемеровской области .....	54
<b>Шпенст В.А., Григорьев П.С.</b> Исследование взаимодействия алгоритмов ШИМ с синусным фильтром в трехфазном инверторе карьерного самосвала .....	60

Позиция редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов публикуемых материалов.

Полнотекстовый доступ к электронной версии журнала на сайте [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)  
Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции  
Издание соответствует коду 58.14.1 ОКПД 2 ОК 034-2014 (КПЕС 2008)

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций – Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-76284 от 19 июля 2019 г.

Журнал включен в Перечень ВАК РФ – ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук по направлениям (технические науки):

- 05.02.00 - машиностроение и машиноведение (05.02.02 – машиноведение, системы приводов и детали машин, 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки)
- 05.05.00 – транспортное, горное и строительное машиностроение (05.05.06 – горные машины)
- 05.09.00 – электротехника (05.09.01 – электромеханика и электрические аппараты, 05.09.03 – электротехнические комплексы и системы)

Дата подписи в печать: 02.07.2021. Дата выхода в свет: 13.07.2021. Формат 60×84/8. Бумага офсетная. Отпечатано на МФУ. Уч.-изд. л. 8,75. Тираж 70 экз. Заказ 180. Цена свободная

Адрес типографии: Издательский центр КузГТУ  
650000, Россия, Кемеровская область, г. Кемерово, ул. Д.Бедного, 4а

SCIENTIFIC AND PRACTICAL JOURNAL  
**MINING EQUIPMENT**  
**AND ELECTROMECHANICS**  
GORNOE OBORUDOVANIE I ELEKTROMEKHANIKA

12+

3(155)  
2021

Founded in 2000

Issued 6 times a year

ISSN 1816-4528

**Editor-in-chief:**

Khoreshok A. A., Dr. Sc., prof.

**Deputy editor-in-chief:**

Lagunova, Yu. a., prof.  
Kantowicz L. I., Dr. Sc., prof.

**Editorial board:**

Trubetskoy K. N., Acad. RAS, Dr. Sc.  
Galkin V. A., Dr. Sc.  
Merzlyakov V. G., Dr. Sc., prof.  
Blumenstein V. Yu., Dr. Sc., prof.  
Aksenov V. V., Akad. AMS., Dr. Sc.

**Editorial Team:**

Andreeva L. I., Dr. Sc.  
Voronova E. Yu., Dr. Sc., prof.  
Galkin V. I., Dr. Sc., prof.  
Glebov A. V., Ph. D.  
Egorov A. N. (Belarus)  
Zhabin A. B., Dr. Sc., prof.  
Zyryanov I. V., Dr. Sc.  
Lakomski A. V., Dr. Sc., Prof.  
Pevzner L. D., Dr. Sc., prof.  
Petrov V. L., Dr. Sc., prof.  
Semykina I. Yu., Ph. D.  
Trifanov G. D., Dr. Sc., Assoc.  
Khazanovich G. Dr. Sc., prof.  
Jungmeister D. A., Dr. Sc., prof.

**Founder and publisher:**

T. F. Gorbachev Kuzbass state technical university

**Address of the founder, the publisher and the Editorial office:**

Russia, 650000, Kemerovo region, Kemerovo, 28 Vesennaya str.

**Technical editor:**

Ostanin O. A.

**Cover design, computer layout:** Borodin D. A.

Tel.: +7 (384-2) 39-63-14

Email: gormash@kuzstu.ru

Website: http://gormash.kuzstu.ru

**CONTENTS**

**MINING MACHINES**

<b>Panasenkov D.A., Zaitsev A.P., Kartashov A.B., Pikalov N.A., Dubinkin D.M.</b> Calculation of hydro-mechanical losses and modeling of cavitation in the channels of the hydraulic unit of a dump truck.....	3
<b>Dubinkin D.M., Pashkov D.A., Architsky N.A.</b> Transmission design solution justification of autonomous mining dump truck lifting capacity up to 90 tons.....	12
<b>Dubov G.M., Bogomolov A.R., Azikhanov S.S., Grigorieva E.A., Nokhrin S.A.</b> Study of fuel consumption and temperature characteristics of gas-diesel BelAZ 75131 dump trucks.....	20
<b>Trukhmanov D.S., Dubov G.M., Chegoshchev A.A., Eltsov I.E., Nokhrin S.A.</b> Technique for evaluating cost-performance ratio of on-board cryogenic fuel systems of lng-fuelled belaz mining dump trucks.....	32
<b>Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Beglyakov V.Yu., Pashkov D.A.</b> Geodynamics of underground apparatuses. The formula is a specialty, research.....	39
<b>Zhabin A.B., Lavit I. M., Kerimov Z.E.</b> Results of striker/tool interaction studies in percussive destruction of rocks.....	48

**ELECTROTECHNICAL COMPLEXES AND SYSTEMS**

<b>Zakharov S.A., Lebedev G.M., Zakharova R.V.</b> Analysis of accident statistics of energy facilities in the Kemerovo region.....	55
<b>Shpenst V.A., Grigorev P. S.</b> The study on interaction of PWM algorithms and the sine-wave filter in the three phase inverter of the mining truck.....	60

The editorial position does not always coincide with the point of view of the authors of the published materials.

Full-text access to the electronic version of the journal is on website [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)

Tax relief - All-Russian product classifier

The publication corresponds to 58.14.1 OKPD 2 OK 034-2014 (KPEC 2008)

The journal is registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Communication, Information Technologies and Mass Communications - Certificate PI No. FS77-76284 of July 19, 2019.

The journal is included in the Russia List of the Higher Attestation Commission being the list of the leading peer-reviewed scientific journals and publications in which the main scientific results of theses for the academic degrees of a doctor and candidate of sciences should be published in the following areas (engineering):

- 05.02.00 - mechanical engineering and engineering science (05.02.02 - mechanical engineering, drive systems and machine parts, 05.02.07 - technology and equipment for mechanical and physical-technical processing)
- 05.05.00 - transport, mining and construction engineering (05.05.06 - mining machines)
- 09.05.00 - electrical engineering (09.05.01 - electromechanics and electrical apparatus, 09.05.03 - electrotechnical complexes and systems)

Signed for publication on 13 July 2021. Date of publication: 03 August 2021.

Format 60x84 /8. Offset paper. Imprinted on MFPs. Published sheets 8,75. Edition 70 copies.

Order 180. Free price

Address of the printing house:

Publishing center KuzSTU

Russia, 650000, Kemerovo region, Kemerovo, 4a, D. Bodnogo str