ISSN 1816-4528 (Print) **ISSN 2949-0634 (Online)**

Научная статья

УДК 622.23.05
DOI: 10.26730/1816-4528-2026-4-128-138

Резанова Елена Викторовна[1*], Садовец Роман Владимирович[2]

[1] Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева
[2] Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана
(Национальный исследовательский университет)

[*] для корреспонденции: elen-rezanova@yandex.ru

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПРИВОДУ АКТИВНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ГЕОХОДОВ

Аннотация.
Одной из основных причин кризиса горнодобывающей отрасли России является низкий технический уровень горной техники и горного оборудования отечественного производства, продолжающийся рост зависимости от закупок и использования зарубежного технологического оборудования, низкие технологические нагрузки на закупленное высокопроизводительное импортное оборудование, нерентабельность инвестиций в автоматизацию технологических процессов. В статье рассмотрены современные геотехнологии механизированного проведения горных выработок, проведен анализ средств механизации. Обозначены технологические возможности геотехнологий и геотехники, их преимущества и недостатки, область рационального применения. В соответствии с приоритетами, обозначенными в Программе развития угольной промышленности России на период до 2035 года, обеспечение конкурентоспособности и технологического лидерства России в области горного дела и горного машиностроения возможно осуществить развитием научно-теоретических и прикладных исследований в области геоходной технологии проведения горных выработок и нового класса горнопроходческой техники – геоходов. На основе проведенных в статье исследований выявлено, что расширение области возможного применения геоходной технологии и геоходов, комплексная автоматизация, роботизация, применение интеллектуальных систем адаптивного управления и интеграция с цифровыми платформами горнодобывающих предприятий в соответствии с современными тенденциями цифровизации горнодобывающей отрасли должны осуществляться в первую очередь посредством разработки и совершенствования активных исполнительных органов геоходов. В статье проведен анализ существующих технических решений исполнительных органов геоходов, особенностей их функционирования, перспективы дальнейшего развития. Обоснованные в статье требования к приводу активных исполнительных органов геоходов являются основой для разработки вариантов их технических решений.

CC BY

Информация о статье
Поступила:
03 июля 2026 г.

Одобрена после рецензирования:
01 сентября 2026 г.

Принята к печати:
15 сентября 2026 г.

Ключевые слова:
горные машины, геоходная технология, геоход, исполнительный орган, привод исполнительного органа геохода

Для цитирования: Резанова Е.В., Садовец Р.В. Обоснование требований к приводу активных исполнительных органов геоходов // Горное оборудование и электромеханика. 2026. № 4 (186). С. 128-138. DOI: 10.26730/1816-4528-2026-4-128-138, EDN: CWSIZS

Введение (Introduction)

В Программе развития угольной промышленности России на период до 2035 года обозначены актуальные проблемы горнодобывающей отрасли и предложены альтернативные сценарии развития, направленные на преодоление текущего кризиса [1].

Основными проблемами горнодобывающей отрасли в контексте применяемых техники и технологий обозначены: низкий технический уровень горной техники и горного оборудования отечественного производства; продолжающийся рост зависимости от закупок и использования зарубежного технологического оборудования, доля которого в среднем по отрасли достигает 80%; низкие

технологические нагрузки на закупленное высокопроизводительное импортное оборудование; нерентабельность инвестиций в автоматизацию технологических процессов. В горнодобывающей отрасли наблюдается отставание по автоматизации и роботизации технологических процессов проведения горных выработок, внедрению полностью автоматизированных комплексно-механизированных забоев, применению технологий цифрового проектирования и др. [1].

Развитие производственного потенциала угольной промышленности России на основе ее модернизации и обновление производственно-технологической базы до уровня, способного обеспечить долгосрочную конкурентоспособность и возможность опережающего развития российской угольной промышленности, предполагается осуществлять в соответствии с промышленной стратегией «Индустрия 4.0». Формирование парка высокотехнологичной горной техники и горного оборудования на предприятиях горнодобывающей отрасли следует осуществлять при максимально возможном импортозамещении и использовании горной техники и горного оборудования, имеющего заключение о подтверждении производства на территории Российской Федерации [1].

Программа технологического развития угольной промышленности направлена на стимулирование создания и внедрения новой техники и технологий в соответствии со стратегическими трендами мирового научно-технологического и технического развития. Основные мероприятия Программы включают [1]:

– развитие научных исследований, проектирования и технического регулирования в угольной промышленности, обеспечивающих разработку и внедрение прогрессивных энергоэффективных технологий и видов оборудования, направленных на повышение производительности труда и эффективности добычи и переработки угля;

– стимулирование разработки и внедрения инновационных технологий на основе автоматизации и роботизации производственных процессов добычи, переработки и транспортировки угля с элементами промышленной стратегии «Индустрия 4.0» на базе технологических платформ и цифровых технологий;

– организацию взаимодействия науки и производства, укрепление научно-технической базы угольных компаний и отраслевых научных центров, обеспечивающих непрерывность процессов технологической модернизации основных производственных фондов, включая освоение технологических «ноу-хау» в соответствии с передовыми мировыми практиками.

Приоритетными направлениями разработки и внедрения инновационных технологий с элементами промышленной стратегии «Индустрия 4.0» для подземных горных работ являются [1]:

– автоматизация и роботизация проведения горных выработок на основе создания нового класса горнопроходческих машин;

– автоматизация и роботизация комплексно-механизированных забоев на основе создания комплексов нового поколения;

– внедрение технологий геоинформационного обеспечения и систем автоматического управления на горных предприятиях;

– развитие промышленного интернета вещей при подземном способе добычи угля (единые информационно-управляющие инфраструктуры, предназначенные для мониторинга и управления любым технологическим оборудованием, обеспечения связи и сигнализации, наблюдения, оповещения и поиска людей, застигнутых аварией);

– создание и модернизация российской испытательной стендовой базы для основной номенклатуры горного оборудования;

– введение обязательных стендовых испытаний горно-шахтного оборудования при получении разрешительной документации на его применение на предприятиях угольной промышленности.

Наиболее применяемой в настоящее время на предприятиях горнодобывающей отрасли в России геотехнологией при сооружении капитальных, подготовительных и очистных горных выработок является технология механизированного проведения горных выработок проходческими комбайнами – до 95% общего объема горнопроходческих работ. Широкое распространение геотехнологии обусловлено комплексом взаимосвязанных факторов: возможностью обеспечения высокой скорости проведения горных выработок посредством совмещения во времени основных технологических операций проходческого цикла; компоновкой функциональных устройств на базе одной горной машины; высокой маневренностью; высоким уровнем безопасности; возможностью механизации и автоматизации основных и вспомогательных процессов, что обеспечивает высокую производительность горнопроходческих работ [2–4].

Проходческие комбайны представляют собой технологические агрегаты для механизированного проведения горизонтальных и наклонных горных выработок по породам средней крепости и крепким, подразделяемые по способу обработки забоя исполнительным органом на две группы – проходческие комбайны избирательного (цикличного) действия с последовательной обработкой поверхности забоя и проходческие комбайны бурового (непрерывного) действия с одновременной обработкой всей поверхности забоя [2–4].

Комбайны избирательного действия (КСП, ГПКС, 4ПП2, КП-25 и их модификации, комбайны производства компаний Sandvik, Eickhoff, Joy Global) оснащены стреловидным исполнительным органом, который способен перемещаться по площади забоя в различных направлениях, осуществляя избирательное разрушение породы. Конструктивно стреловидный исполнительный орган выполнен в виде консольной телескопической стрелы, на конце которой в зависимости от физико-механических свойств разрушаемых горных пород могут быть установлены продольно-осевые, попе-

речно-осевые, конические, сферические, лучевые, дисковые или барабанные режущие коронки. В соответствии с выполняемыми технологическими операциями проходческого цикла проходческий комбайн оснащен несколькими рабочими органами, каждый из которых выполняет определенную функцию – породопогрузочное устройство, транспортная система, ходовая часть, система пылеподавления, устройства для крепления и т. д. [2–4].

Комбайны бурового действия, обеспечивающие одновременную обработку всей поверхности забоя, оснащены роторными исполнительными органами, предназначенными для проведения горных выработок в крепких породах. По сравнению с комбайнами избирательного действия основными недостатками комбайнов бурового действия являются: ограниченная мобильность из-за сложного шагающего роторного устройства, большая масса (до 250 т) и длина (15-16 м), высокая трудоемкость монтажных работ (1000-2500 чел.-смен) [2–4].

В качестве силового оборудования в горнопроходческих комбайнах избирательного и бурового действия применяются пневматические, гидравлические и электрические приводы, при этом в современных моделях горнопроходческих агрегатов преобладают гидравлические и комбинированные приводы.

Перспективной геотехнологией для освоения подземного пространства является технология механизированного проведения горных выработок проходческими щитами с совмещением во времени основных технологических операций проходческого цикла. Современные механизированные проходческие щиты представляют собой высокотехнологичные комплексы, включающие системы разрушения горной породы, транспортирования горной массы, управления направлением движения проходческого щита по трассе горной выработки, возведения постоянной обделки и геотехнического мониторинга [5–7].

Проходческий щит представляет собой передвижную механизированную крепь, под защитой которой в призабойной зоне производятся операции по разрушению, погрузке и транспортированию горной массы, а вслед за передвижкой проходческого щита – возведение постоянной обделки горной выработки. Корпус проходческого щита выполняет несущую и ограждающую функции, воспринимая горное давление и обеспечивая безопасность работ в призабойной зоне. Проходческие щиты могут оснащаться исполнительными органами непрерывного действия (роторными, планетарными), циклического действия (экскаваторными, избирательного действия) и комбинированными [5–7].

Средние темпы механизированного проведения горных выработок проходческими щитами в настоящее время составляют 80-100 м/мес, производительность современных комплексов ведущих фирм Herrenknecht, LOVAT, Robbins достигает 350-500 м/мес в зависимости от диаметра и горно-геологических условий проведения горной выработки. Разработка и производство механизированных проходческих щитов в России не осуществляется.

Традиционные геотехнологии механизированного проведения горных выработок, развиваясь по пути увеличения мощности и металлоемкости горнопроходческого оборудования, практически исчерпали свои возможности в увеличении производительности, обеспечении безопасности горных работ и расширении области применения. В соответствии с приоритетами Программы развития угольной промышленности России необходима собственная горнопроходческая техника качественно иного уровня, способная работать при любых горно-геологических и горнотехнических условиях [1, 8, 9].

Методы (Methods)

Обоснование актуальности темы исследования, определение цели и задач, разработка требований к приводу активных исполнительных органов геоходов выполнены с применением следующих методов: обзор, систематизация и анализ научно-технической литературы по теме исследования, научных статей и диссертационных работ, патентов и авторских свидетельств, отчетов по НИР и НИОКР, конструкторской документации, протоколов испытаний и нормативно-технической документации; системный анализ и научное обобщение результатов исследований, проектирования и испытаний геоходов как сложных многофункциональных технических систем.

Результаты исследования (Results)

Обеспечение конкурентоспособности и технологического лидерства России в области горного дела и горного машиностроения может быть осуществлено развитием предложенного российскими учеными инновационного, перспективного, не имеющего в настоящее время аналогов в мировой практике направления, получившего название «*инновационный геотехнологический инструментарий для формирования подземного пространства*» [8–10].

Инновационный комплекс, предполагающий переход на качественно новый уровень развития геотехнологий и геотехники, включает: принципиально отличающееся от традиционного представление процесса проведения горных выработок и формирования (освоения) подземного пространства; новую технологию проведения горных выработок – *геоходную технологию*; новый класс горнопроходческой техники для геоходной технологии – *геоходы*; новые виды крепей горных выработок и обделок подземных сооружений; научно-методическое обеспечение, необходимое для эффективного применения и развития геотехнологического инструментария [10–12].

Объемные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, проведенные и проводимые в настоящее время российскими учеными, позволили создать научный и практический задел в области разработки геоходной технологии и нового класса горнопроходческой техники – геоходов, а также определить направления предстоящих исследований [11–13].

По определению *геоходная технология* – это процесс механизированного проведения горных выработок с формированием и использованием системы законтурных винтовых и продольных каналов, в котором операции по разработке забоя, уборке горной массы, креплению выработанного пространства, а также перемещению всей проходческой системы на забой осуществляются в совмещенном режиме. Проведение горной выработки при геоходной технологии, в отличие от традиционного подхода, рассматривается как процесс движения твердого тела (геохода) в твердой среде (геосреде) [13, 16].

Геоходы – базовые элементы геоходной технологии проведения горных выработок и формирования (освоения) подземного пространства – горнопроходческие аппараты многоцелевого назначения, движущиеся в массиве горных пород с использованием геосреды. Принцип работы геоходов существенно отличается от традиционного горнопроходческого оборудования. Он предполагает ввинчивание корпуса геохода в горную породу и использование приконтурного массива горных пород (геосреды) как опорного элемента. Геоходы представляют собой новый класс горных машин, предназначенных для проведения горных выработок различного назначения и расположения в пространстве. Принцип работы геоходов предполагает полностью автоматизированное управление горнопроходческой системой [12, 13, 16].

При геоходной технологии проведения горных выработок приконтурный массив горных пород (геосреда) используется как опорный элемент, задействованный в создании движущих сил геохода и восприятии реактивных усилий от работы систем геохода и технологического оборудования, для удержания геохода в любом пространственном положении, для создания напорных усилий на исполнительных органах геоходов, для выполнения основных технологических операций проходческого цикла, включая крепление горной выработки [11–13].

Преимуществами геоходной технологии по сравнению с традиционными способами механизированного проведения горных выработок и формирования (освоения) подземного пространства являются: возможность совмещения во времени основных технологических операций проходческого цикла и обеспечения непрерывного режима проведения горных выработок; повышение скорости и производительности проходки; возможность создания больших напорных усилий на исполнительных органах геоходов при одновременном снижении металлоемкости горнопроходческого аппарата; снижение энергоемкости разрушения горных пород и энергопотребления; повышение эффективности и безопасности горнопроходческих работ; возможность автоматизации, роботизации, применения интеллектуальных систем адаптивного управления и интеграции с цифровыми платформами горнодобывающих предприятий; широкая область возможного применения инновационных геотехнологии и геотехники [8, 9, 21].

Геоходная технология и геоходы могут быть применены при строительстве подземных сооружений горнодобывающих предприятий, транспортных, гидротехнических, коммунальных тоннелей, метрополитенов, инженерных сооружений в подземном пространстве городов, иных подземных сооружений хозяйственного, социального, экологического и иного назначения при различных горно-геологических и горнотехнических условиях проведения горных выработок [10–13].

Широкая область применения геоходов обусловлена как уникальным способом перемещения проходческих аппаратов в геосреде, так и конструктивно-компоновочной схемой. Конструктивно-компоновочная схема геоходов строится по модульному принципу и в общем случае включает следующие основные системы [13, 22, 23]:

– тяговый модуль;

– стабилизирующий модуль;

– исполнительный модуль с исполнительными органами разрушения забоя;

– внешний движитель с индивидуальными исполнительными органами;

– элементы противовращения с индивидуальными исполнительными органами;

– трансмиссию;

– узел сопряжения тягового и стабилизирующего модулей;

– энергосиловую установку;

– погрузочно-транспортирующую систему.

Целью проведенных исследований в статье является обоснование требований к приводу активных исполнительных органов геоходов, что позволит разработать варианты технических и конструктивных решений исполнительного модуля геохода для различных горно-геологических и горнотехнических условий проведения горных выработок.

Как известно, процесс разрушения горных пород является основным в технологическом цикле проведения горных выработок и при механическом способе разрушения осуществляется исполнительными органами горных машин [14, 15].

Исполнительный орган горной машины, непосредственно реализующий основную технологическую операцию проходческого цикла, выполняет функцию системообразующего элемента, поскольку он предопределяет целевое назначение горной машины, область ее рационального применения по горно-геологическим и горнотехническим условиям проведения горных выработок, энерговооруженность, основные технические характеристики, рациональную конструктивно-компоновочную схему и другие характеристики. Научно обоснованное проектирование исполнительных органов горных машин является приоритетной задачей при создании высокоэффективной конкурентоспособной горнопроходческой техники.

На начальном этапе создания геоходов приоритетной задачей являлось экспериментальное подтверждение принципиальной работоспособности

геоходов с учетом уникального, отличающегося от традиционной горнопроходческой техники, способа перемещения в геосреде. Основное внимание уделялось созданию систем геохода, реализующих этот уникальный способ перемещения. Необходимым и достаточным требованием при научном обосновании и создании исполнительных органов геоходов являлось обеспечение их работоспособности в породах с коэффициентом крепости $f = 0{,}5 \div 5$ по шкале профессора М. М. Протодьяконова. Эти научно обоснованные разработки были реализованы и успешно апробированы на экспериментальных образцах геоходов [13, 19].

Изготовление первых экспериментальных образцов геоходов «ЭЛАНГ-3» и «ЭЛАНГ-4» и последующие стендовые и шахтные испытания не только подтвердили принципиальную работоспособность нового класса горнопроходческой техники, но и позволили выявить специфические особенности функционирования систем геоходов.

Первый экспериментальный образец геохода «ЭЛАНГ-3» (Рис. 1, а) был оснащен ножевым исполнительным органом и предназначался для проведения выработок в мягких породах с коэффициентом крепости до $f \leq 1$ по шкале профессора М. М. Протодьяконова на небольших глубинах. Исполнительный модуль геохода был выполнен в виде неразборной сварной металлоконструкции с закрепленными на ней ножами, имел жесткие кинематическую и конструктивную связи с тяговым модулем геохода и одновременно с ним приводился в движение гидродомкратами энергосиловой установки геохода. В настоящее время такой тип исполнительных органов не в полной мере соответствует современным требованиям к основным системам геоходов [13, 21–24].

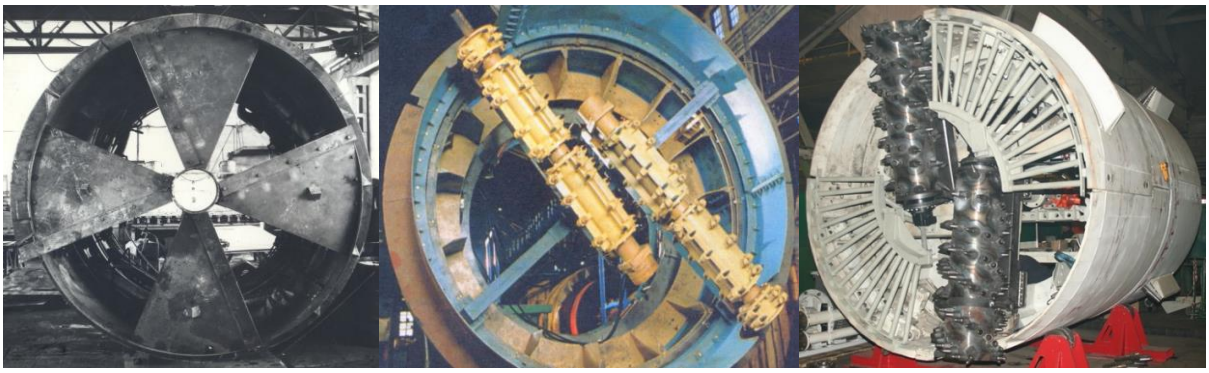
Экспериментальный образец геохода «ЭЛАНГ-4» (Рис. 1, б) был оснащен барабанным исполнительным органом с двумя барабанами с резцами и предназначался для проведения горных выработок по породам с коэффициентом крепости $1 < f \leq 5$ по шкале профессора М. М. Протодьяконова. Каждый барабан имел индивидуальный автономный привод и был закреплен на неразборной сварной раме исполнительного модуля, жестко связанного с тяговым модулем геохода. Таким образом была обеспечена связь параметров подачи исполнительного органа на забой с параметрами внешнего движителя геохода [13, 14, 21].

Экспериментальный образец геохода модели «401» (Рис. 1, в) также был оснащен барабанным исполнительным органом с резцами после более детального исследования и модернизации с учетом современных требований к исполнительным органам геоходов [14, 15, 17].

В работе [14] были исследованы барабанные, корончатые с зафиксированными коронками и роторные без индивидуального привода исполнительные органы геоходов. Было доказано, что для геоходов диаметром от 2,1 м до 5,6 м при разрушении пород средней крепости из всех сравниваемых схемных решений исполнительных органов наибольшее значение обобщенного показателя степени соответствия исполнительного органа геохода функциональному назначению горнопроходческого аппарата имеет барабанный исполнительный орган, который был рекомендован для оснащения экспериментальных образцов геоходов.

В рамках исследования было рассмотрено два варианта индивидуального автономного привода барабанного исполнительного органа геохода – без редуктора и с редуктором. В экспериментальном образце геохода модели «401» был реализован индивидуальный автономный привод барабанного исполнительного органа геохода со встроенными в барабаны редукторами как более предпочтительный вариант по критериям минимальных массово-габаритных характеристик привода исполнительного органа геохода и максимального свободного пространства внутри тягового модуля геохода.

В рамках научно-исследовательских работ, направленных на совершенствование систем геоходов, в том числе исполнительных органов, были проведены систематизация и комплексный анализ технических решений исполнительных органов горнопроходческой техники. Было установлено, что некоторые технические решения в той или иной степени удовлетворяют требованиям к исполнительным органам геоходов и при определенных условиях, возможно, могут быть адаптированы к



а) *б)* *в)*

Рис. 1. Исполнительные органы экспериментальных образцов геоходов
а) – геоход «ЭЛАНГ-3»; б) – геоход «ЭЛАНГ-4»; в) – геоход модели «401»
Fig. 1. Executive bodies of experimental samples of geohods
a) – geohod «ELANG-3»; b) – geohod «ELANG-4»; c) – geohod model «401»

геоходной технологии проведения горных выработок. К таким техническим решениям относятся барабанные, баровые, шнековые, роторные, корончатые и планетарные исполнительные органы горных машин [13, 14, 21, 24].

Однако следует констатировать, что применить непосредственно существующие технические решения исполнительных органов горных машин и методические подходы к их проектированию для геоходов не представляется возможным, что требует поиска новых технических решений и разработки научно-методического обеспечения. Кроме того, в современных условиях цифровой трансформации отраслей промышленности при создании новых геотехнологий и высокоэффективной конкурентоспособной горнопроходческой техники необходимо предусматривать возможность автоматизации, роботизации, применения интеллектуальных систем адаптивного управления и интеграции с цифровыми платформами горнодобывающих предприятий, а также расширения области возможного применения инновационных геотехнологии и геотехники [17–20].

Таким образом, исследования, направленные на разработку и совершенствование технических решений активных исполнительных органов геоходов и обоснование параметров их приводов, являются актуальными.

Проведенный обзор, систематизация и анализ результатов научных исследований, разработок и испытаний геоходов как сложных многофункциональных технических систем позволяет сформулировать цель и задачи настоящей работы и предстоящих исследований.

Если рассматривать активные исполнительные органы геоходов как объект исследования, а параметры привода активных исполнительных органов геоходов как предмет исследования, общей целью исследования в итоге является разработка и обоснование параметров привода активных исполнительных органов геоходов.

Первым и целеполагающим этапом при создании или модернизации технических объектов и их элементов, в том числе приводов горных машин, при проведении научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ и инженерных изысканий является разработка технического задания, включающего в том числе комплекс требований к разрабатываемому изделию. Обоснованные требования к приводу активных исполнительных органов геоходов позволят разработать варианты технических решений привода активных исполнительных органов геоходов для различных горно-геологических и горнотехнических условий проведения горных выработок, модель взаимодействия систем и элементов привода активных исполнительных органов геоходов между собой, методики определения параметров привода активных исполнительных органов геоходов и т. д.

Технологические, технические, компоновочные, конструктивные и эксплуатационные требования к приводу активных исполнительных органов геоходов разработаны с учетом особенностей геоходной технологии проведения горных выработок, перспективы развития нового класса горных машин, повышения эффективности и безопасности геоходной технологии проведения горных выработок.

Технологические требования

Привод активных исполнительных органов геоходов должен соответствовать следующей совокупности технологических требований, обусловленных особенностями геоходной технологии проведения горных выработок:

– обеспечить непрерывное разрушение породы забоя исполнительными органами геоходов в соответствии с горно-геологическими и горнотехническими условиями проведения горных выработок;

– обеспечить разрушение забоя исполнительными органами геоходов на полное сечение проводимой выработки за один полный оборот тягового модуля геохода;

– обеспечить возможность формирования геликоидной формы забоя различными типами активных исполнительных органов геоходов;

– обеспечить возможность реализации различных способов и режимов разрушения исполнительными органами геоходов центральной и периферийной частей забоя выработки с целью управления напряженно-деформированным состоянием горных пород как способом снижения энергоемкости разрушения при проведении горных выработок геоходами [24–26];

– обеспечить возможность управления направлением движения геохода по трассе горной выработки, реализуемой с помощью исполнительных органов геоходов;

– должны быть предусмотрены необходимость и возможность автоматизации, роботизации, применения интеллектуальных систем адаптивного управления, интеграции с цифровыми платформами горнодобывающих предприятий и т. п.

Технические требования

Привод активных исполнительных органов геоходов должен соответствовать совокупности технических требований, определяемых как целевые показатели:

– обеспечить требуемую производительность проведения горных выработок в соответствии с горно-геологическими и горнотехническими условиями;

– обеспечить требуемые силовые и кинематические параметры для разрушения породы забоя исполнительными органами геоходов в соответствии с технологическими требованиями;

– параметры привода активных исполнительных органов геоходов должны быть согласованы с параметрами движения геохода по трассе горной выработки (перемещение геохода в геосреде на величину шага винтовой лопасти за один полный оборот тягового модуля геохода);

– привод активных исполнительных органов геоходов должен быть адаптивным к изменяющимся горно-геологическим и горнотехническим условиям проведения горных выработок;

– соответствовать критериям надежности, регламентированным для горнопроходческой техники;

– обладать высокой энергетической эффективностью;

– обеспечить возможность реверсирования.

Компоновочные и конструктивные требования

Требования обусловлены необходимостью размещения всех систем геохода на общем носителе (корпусе). Привод активных исполнительных органов геоходов:

– должен быть скомпонован в пределах ограниченных габаритов внутреннего пространства исполнительного и/или тягового модулей геохода;

– не должен загромождать внутреннее пространство тягового модуля геохода, что обусловлено необходимостью размещения систем геохода и доступа к призабойной части выработки;

– должен иметь минимальные массово-габаритные характеристики;

– должен соответствовать критериям работоспособности, применяемым при проектировании горнопроходческой техники;

– не должен накладывать ограничения на тип применяемых исполнительных органов и при необходимости допускать возможность модификации непосредственно в условиях горной выработки.

Эксплуатационные требования

Привод активных исполнительных органов геоходов должен соответствовать совокупности эксплуатационных требований, определяющих его способность функционировать в условиях подземных горных выработок:

– должен быть устойчивым к длительному воздействию факторов агрессивной среды, включая повышенную влажность, запыленность, наличие химически активных соединений, перепады температуры и т. д.;

– обеспечивать возможность проведения технического обслуживания, ремонта и при необходимости модификации в ограниченном пространстве тягового модуля геохода непосредственно в условиях горной выработки;

– соответствовать нормам и требованиям промышленной безопасности, регламентированным для оборудования, эксплуатируемого в подземных условиях.

При разработке вариантов схемных и конструктивных решений приводов активных исполнительных органов геоходов требования могут быть детализированы, дополнены или изменены.

Выводы (Conclusion)

1. Обеспечение конкурентоспособности и технологического лидерства России в области горного дела и горного машиностроения в соответствии с приоритетами, обозначенными в Программе развития угольной промышленности России на период до 2035 года, может быть осуществлено развитием исследований в области геоходной технологии проведения горных выработок и нового класса горнопроходческой техники – геоходов.

2. Расширение области возможного применения геоходной технологии и геоходов, комплексная автоматизация, роботизация, применение интеллектуальных систем адаптивного управления и интеграция с цифровыми платформами горнодобывающих предприятий в соответствии с современными тенденциями горнодобывающей отрасли должны быть осуществлены посредством разработки и совершенствования активных исполнительных органов геоходов.

3. Обоснованные в статье требования к приводу активных исполнительных органов геоходов являются основой для разработки вариантов технических решений привода активных исполнительных органов геоходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года [Электронный ресурс] : PDF-документ. URL : http://static.government.ru/media/files/OoKX6PriWgDz4CNNAxwIYZEE6zm6I52S.pdf. (Дата обращения: 01.07.2026).

2. Клорикьян С. Х., Старичнев В. В., Сребный М. А. Машины и оборудование для шахт и рудников : Справочник. Москва : МГГУ, 2002. 471 с. ISBN 5-7418-0173-0.

3. Маметьев Л. Е., Хорешок А. А., Борисов А. Ю. Направление повышения зарубной способности исполнительных органов проходческих комбайнов с аксиальными коронками // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – № 5(105). – С. 21-24. – EDN SYQIDF.

4. Мерзляков В. Г., Деревяшкин И. В., Казанцев А. А. Горные машины и оборудование для проведения подземных выработок. Москва : Российский университет дружбы народов (РУДН), 2020. 264 с. ISBN 978-5-209-10169-7. EDN VFVDAT.

5. Бреннер В. А., Жабин А. Б. [и др.]. Щитовые проходческие комплексы : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Горные машины и оборудование» направления подготовки «Технологические машины и оборудование». Москва : Горная кн., 2009. (Горное машиностроение). ISBN 978-5-98672-168-2. EDN QMYVFB.

6. Аверин Е. А. Опыт, проблемы и перспективы внедрения отечественных механизированных комплексов для подземного строительства // Метро и тоннели. 2026. № 2. С. 38–42. EDN SJQANA.

7. Самойлов В. П., Малицкий В. С. Новейшая японская техника щитовой проходки тоннелей : справ.-информ. изд. Москва : Империум Пресс, 2004. 227 с. ISBN 5-9622-0017-9. EDN QNKQFT.

8. 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 // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2018. № 4(128). С. 105–113. DOI: 10.26730/1999-4125-2018-4-105-113.

9. Аксенов В. В., Хорешок А. А., Бегляков В. Ю. Концепция создания перспективного техноло-

гического 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. DOI: 10.26730/1999-4125-2018-5-43-51.

10. Аксенов В. В., Бегляков В. Ю., Пашков Д. А. Создание инновационного инструментария формирования подземного пространства. Структура и направления исследований // Перспективы инновационного развития угольных регионов России : Сборник трудов IX Международной научно-практической конференции, Прокопьевск, 25–26 апреля 2024 года. Прокопьевск : Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева, 2024. С. 4–10. EDN JOVMGZ.

11. Aksenov V. V., Khoreshok A. A., Efremenkov A. B. [et al.]. Areas of research on the construction of tunneling underground machines of the Geohod class // IOP conference series: materials science and engineering : The conference proceedings ISPCIET'2020, Veliky Novgorod. Vol. 939. Veliky Novgorod : IOP Publishing Ltd, 2020. Art. 012006. DOI: 10.1088/1757-899X/939/1/012006.

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

13. Ефременков А. Б. Разработка научных основ создания систем геохода : специальность 05.05.06 «Горные машины» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Ефременков Андрей Борисович. Кемерово, 2016. 314 с. EDN WRWIOO.

14. Ананьев К. А. Создание исполнительного органа геохода для разрушения пород средней крепости : специальность 05.05.06 «Горные машины» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ананьев Кирилл Алексеевич. Кемерово, 2016. 144 с. EDN ZFNJEX.

15. Ананьев К. А, Ермаков А. Н., Садовец В. Ю. Требования к исполнительным органам геоходов // Россия молодая : Сборник материалов VI всероссийской, 59-й научно-практической конференции молодых ученых с международным участием. Ответственный редактор Блюменштейн В. Ю. Кемерово : Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева, 2014. С. 8. EDN VAIRKD.

16. Аксенов В. В., Хорешок А. А., Ефременков А. Б. [и др.]. Геоходы – основа создания нового геотехнологического инструментария для формирования подземного пространства и подземной робототехники // Перспективы инновационного развития угольных регионов России : Сборник трудов V Международной научно-практической конференции, Прокопьевск, 30–31 марта 2016 года / Ответственные редакторы : Пудов Е. Ю., Клаус О. А. Прокопьевск : Филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева» в г. Прокопьевске, 2016. С. 277–288. EDN WFYKYJ.

17. Аксенов В. В., Хорешок А. А., Ананьев К. А., Ермаков А. Н. Определение силовых и кинематических параметров исполнительных органов геохода методом имитационного моделирования // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2016. № 1(113). С. 77–83. EDN YJUVWX.

18. Aksenov V., Chicherin I., Kazantsev A. [et al.]. Substantiation of the Necessity for Design of Geohod Control System // E3S Web of Conferences : The Second International Innovative Mining Symposium. Vol. 21. Kemerovo : EDP Sciences, 2017. DOI: 10.1051/e3sconf/20172103001.

19. Садовец В. Ю., Резанова Е. В., Садовец Р. В., Санников А. К. Разработка требований к системе инерциального позиционирования горных машин // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 3(161). С. 3–12. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-3-3-12.

20. Садовец Р. В., Санников А. К., Резанова Е. В. Разработка прототипа системы инерциального позиционирования горных машин // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте : Сборник материалов V Международной научно-практической конференции, Кемерово, 19–20 октября 2021 года / Редколлегия : Д. М. Дубинкин (отв. ред.) [и др.]. Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2021. С. 378–383. EDN VTMDWC.

21. Садовец В. Ю. Обоснование конструктивных и силовых параметров ножевых исполнительных органов геоходов : специальность 05.05.06 «Горные машины» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Садовец Владимир Юрьевич. Кемерово, 2007. 153 с. EDN NOMYNX.

22. Садовец В. Ю., Садовец Р. В., Резанова Е. В. Разработка параметрической модели контура режущей кромки ножа исполнительного органа геохода // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2023. № 1. С. 16–24. DOI: 10.21440/0536-1028-2023-1-16-24.

23. Садовец Р. В., Резанова Е. В. Методика построения твердотельной модели ножевого исполнительного органа геохода // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте : Сборник материалов III Международной научно-практической конференции, Кемерово, 14–17 октября 2019 года / Редколлегия : Д. М. Дубинкин [и др.]. Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2019. С. 148–151. EDN JLDJRC.

24. Хорешок А. А., Маметьев Л. Е., Борисов А. Ю., и др. Распределение напряжений в узлах крепления дискового инструмента на коронках проходческих комбайнов // Вестник Кузбасского государ-

ственного технического университета. – 2012. – № 6(94). – С. 34-40. – EDN PULJPT..

25. Khoreshok A. A., Aksenov V. V., Beglyakov V. Yu [et al.]. Modeling the stress-strain state of the rock created by the action of the final element of the mining machine // AIP Conference Proceedings : Iv International Scientific And Practical Conference On Innovations In Engineering And Technology (Ispciet 2021). Vol. 2486. Veliky Novgorod, Russia : Aip Publishing; 2022. Art. 040004. DOI: 10.1063/5.0106081.

26. Aksenov V. V., Efremenkov A. B., Sadovets V. Yu. [et al.]. Development of a methodology for modeling complex shaped geohod operating body in SolidWorks // IOP conference series: materials science and engineering : The conference proceedings ISPCIET'2020. Vol. 939. Veliky Novgorod : IOP Publishing Ltd, 2020. Art. 012005. DOI: 10.1088/1757-899X/939/1/012005.

© 2026 Авторы. Эта статья доступна по лицензии CreativeCommons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:
Резанова Елена Викторовна, старший преподаватель, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева (650000, Россия, Кемеровская область – Кузбасс, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: elen-rezanova@yandex.ru
Садовец Роман Владимирович, магистрант, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (Национальный исследовательский университет) (105005, Россия, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Басманный, ул. 2-я Бауманская, 5, строение 1)

Заявленный вклад авторов:
Резанова Елена Викторовна – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, концептуализация исследования, обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, написание текста, выводы.
Садовец Роман Владимирович – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, концептуализация исследования, обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, написание текста, выводы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2026-4-128-138

Elena V. Rezanova[1*], Roman V. Sadovets[2]

[1] T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University
[2] Bauman Moscow State Technical University (National Research University)

***** for correspondence: elen-rezanova@yandex.ru

JUSTIFICATION OF REQUIREMENTS FOR THE DRIVE OF ACTIVE EXECUTIVE BODIES OF GEOHODS

Article info
Received:
03 July 2026

Accepted for publication:
01 September 2026

Accepted:
15 September 2026

Abstract.
One of the main reasons for the crisis in the Russian mining industry is the low technical level of mining machinery and mining equipment of domestic production, the continued increase in dependence on purchases and use of foreign technological equipment, low technological loads on purchased high-performance imported equipment, and the unprofitability of investments in automation of technological processes. The article considers modern geotechnologies of mechanized mining, analyzes the means of mechanization. The technological possibilities of geotechnologies and geotechnics, their advantages and disadvantages, and the field of rational application are outlined. In accordance with the priorities outlined in the Russian Coal Industry Development Program for the period up to 2035, ensuring Russia's competitiveness and technological leadership in the field of mining and mining engineering can be achieved through the development of scientific, theoretical and applied research in the field of geohopping technology

Keywords: *mining machines, geohod technology, geohod, executive body, drive of the executive body of the geohod*

and a new class of mining equipment, geohopping. Based on the research conducted in the article, it was revealed that the expansion of the field of possible application of geohopping technology and geohopping, integrated automation, robotics, the use of intelligent adaptive control systems and integration with digital platforms of mining enterprises in accordance with current trends in the digitalization of the mining industry should be carried out primarily through the development and improvement of active executive bodies of geohopping. The article analyzes the existing technical solutions of the executive bodies of geohouses, the specifics of their functioning, and the prospects for further development. The requirements justified in the article for the drive of active executive bodies of geohouses are the basis for the development of options for their technical solutions.

For citation: Rezanova E.V., Sadovets R.V. Justification of requirements for the drive of active executive bodies of geohods. Mining Equipment and Electromechanics, 2026; 4(186):128-138 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2026-4-128-138, EDN: CWSIZS

REFERENCES

1. The program for the development of the Russian coal industry for the period up to 2035 [Electronic resource] : PDF document. URL : http://static.government.ru/media/files/OoKX6PriWgDz4CNNAxwIYZEE6zm6I52S.pdf. (Date of request: 07.01.2026).

2. Klorikyan S.Kh., Starichnev V.V., Srebny M.A. Machinery and equipment for mines and mines : Handbook. Moscow: MGSU; 2002. 471 p. ISBN 5-7418-0173-0.

3. Mametev L. E., Khoreshok A. A., Borisov A. Yu. Direction of increasing the cutting ability of executive bodies of roadheaders with axial crowns // *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2014. No. 5(105). P. 21–24. EDN SYQIDF.

4. Merzlyakov V.G., Derevyashkin I.V., Kazantsev A.A. Mining machines and equipment for underground mining. Moscow: Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University); 2020. 264 p. ISBN 978-5-209-10169-7. EDN VFVDAT.

5. Brenner V.A., Zhabin A.B. [et al.]. Shield tunneling complexes : a textbook for university students studying in the specialty «Mining machinery and equipment» in the field of training «Technological machinery and equipment». Moscow: Gornaya Publishing House; 2009. (Mining machinery). ISBN 978-5-98672-168-2. EDN QMYVFB.

6. Averin E.A. Experience, problems and prospects of introducing domestic mechanized complexes for underground construction. *Metro and tunnels*. 2026; 2:38-42. EDN SJQANA.

7. Samoilov V.P., Malitsky V.S. The latest Japanese technology of shield tunneling : reference.-inform. ed. Moscow: Imperium Press; 2004. 227 p. ISBN 5-9622-0017-9. EDN QNKQFT.

8. Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Beglyakov V.Yu. The concept of creating perspective technological layout of formation (development) of the underground space on the basis of a leading development of new approaches in construction geotechnology and geotechnics. Part 1. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2018; 4(128):105-113. DOI: 10.26730/1999-4125-2018-4-105-113.

9. Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Beglyakov V.Yu. The concept of creating perspective technological layout of formation (development) of the underground space on the basis of a leading development of new approaches in construction geotechnology and geotechnics. Part 2. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2018; 5(129):43-52. DOI: 10.26730/1999-4125-2018-5-43-51.

10. Aksenov V.V., Beglyakov V.Yu., Pashkov D.A. Creation of innovative tools for the formation of underground space. Structure and research directions. *Prospects for the innovative development of Russia's coal regions : Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference*. Prokopyevsk, April 25–26, 2024. Prokopyevsk : Kuzbass State Technical University named after T. F. Gorbachev; 2024. Pp. 4-10. EDN JOVMGZ.

11. Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Efremenkov A.B. [et al.]. Areas of research on the construction of tunneling underground machines of the Geohod class. *IOP conference series: materials science and engineering : The conference proceedings ISPCIET'2020*. Vol. 939. Veliky Novgorod: IOP Publishing Ltd; 2020. Art. 012006. DOI: 10.1088/1757-899X/939/1/012006.

12. Aksenov V.V., Beglyakov V.Yu., Koperchuk A.V. [et al.]. Creation of tunneling underground apparatuses interacting with the geological environment. Fields of research. *Mining equipment and electromechanics*. 2020; 2(148):3-12. DOI: 10.26730/1816-4528-2020-2-3-12.

13. Efremenkov A.B. Development of scientific foundations for the creation of geohod systems : specialty 05.05.06 «Mining machines» : dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Efremenkov Andrey Borisovich. Kemerovo, 2016. 314 p. EDN WRWIOO.

14. Ananyev K.A. Creation of the executive body of the geohod for the destruction of rocks of medium strength : specialty 05.05.06 «Mining machines» : dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Ananyev Kirill Alekseevich. Kemerovo, 2016. 144 p. EDN ZFNJEX.

15. Ananyev K.A., Ermakov A.N., Sadovets V.Yu. Requirements for executive bodies of geohods. *Russia young : Collection of materials of the VI All-Russian, 59th scientific and practical conference of young scientists with international participation*. Responsible editor Blumenshtein V.Y. Kemerovo: Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev; 2014. P. 8. EDN VAIRKD.

16. Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Efremenkov A.B. [et al.]. Geohods are the basis for creating new geotechnological tools for the formation of underground space and underground robotics. *Prospects for*

the innovative development of Russia's coal regions : Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference. Prokopyevsk, March 30–31, 2016. Responsible editors: Pudov E.Yu., Klaus O.A. Prokopyevsk: Branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University» in Prokopyevsk; 2016. Pp. 277-288. EDN WFYKYJ.

17. Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Ananyev K.A., Ermakov A.N. Estimation of force and kinematic parameters of cutting drums of geohod. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2016; 1(113):77-83. EDN YJUVWX.

18. Aksenov V., Chicherin I., Kazantsev A. [et al.]. Substantiation of the Necessity for Design of Geohod Control System. *E3S Web of Conferences : The Second International Innovative Mining Symposium.* Vol. 21. Kemerovo: EDP Sciences; 2017. DOI: 10.1051/e3sconf/20172103001.

19. Sadovets V.Yu., Rezanova E.V., Sadovets R.V., Sannikov A.K. Development of requirements for the inertial positioning system of mining machines. *Mining equipment and electromechanics*. 2022; 3(161):3-12. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-3-3-12.

20. Sadovets R.V., Sannikov A.K., Rezanova E.V. Development of a prototype of an inertial positioning system for mining machines. *Innovations in information technologies, mechanical engineering and motor transport : Collection of materials of the V International Scientific and Practical Conference*. Kemerovo, October 19–20, 2021. Editorial board: D. M. Dubinkin (editor) [et al.]. Kemerovo: Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev; 2021. Pp. 378–383. EDN VTMDWC.

21. Sadovets V.Yu. Substantiation of the design and power parameters of knife-type executive geohod bodies : specialty 05.05.06 «Mining machines» : dissertation for the degree of candidate of Technical Sciences / Sadovets Vladimir Yurievich. Kemerovo, 2007. 153 p. EDN NOMYNX.

22. Sadovets V.Yu., Sadovets R.V., Rezanova E.V. Parametric model for a cutting edge contour of the geohod cutting body blade. *News of higher educational institutions. Mining Magazine.* 2023; 1:16–24. DOI: 10.21440/0536-1028-2023-1-16-24.

23. Sadovets R.V., Rezanova E.V. Methodology for constructing a solid-state model of a knife-type executive body of a geohod. *Innovations in information technology, mechanical engineering and automotive transport : Collection of materials of the III International Scientific and Practical Conference.* Kemerovo, October 14–17, 2019. Editorial board: D. M. Dubinkin [et al.]. Kemerovo: Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev; 2019. Pp. 148–151. EDN JLDJRC.

24. Khoreshok A. A., Mametev L. E., Borisov A. Yu. [et al.] Stress distribution in the attachment points of disk tools on the crowns of roadheaders // . *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2012. No. 6(94). P. 34–40. EDN PULJPT.

25. Khoreshok A.A., Aksenov V.V., Beglyakov V.Yu [et al.]. Modeling the stress-strain state of the rock created by the action of the final element of the mining machine. *AIP Conference Proceedings : IV International Scientific And Practical Conference On Innovations In Engineering And Technology (Ispciet 2021).* Veliky Novgorod, Russia, June 28–29, 2021. Vol. 2486. Veliky Novgorod, Russia: AIP PUBLISHING; 2022. Art. 040004. DOI: 10.1063/5.0106081.

26. Aksenov V.V., Efremenkov A.B., Sadovets V.Yu. [et al.]. Development of a methodology for modeling complex shaped geohod operating body in SolidWorks. *IOP conference series: materials science and engineering : The conference proceedings ISPCIET'2020.* Veliky Novgorod, June 25–26, 2020. Vol. 939. Veliky Novgorod: IOP Publishing Ltd; 2020. Art. 012005. DOI: 10.1088/1757-899X/939/1/012005.

© 2026 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

The authors declare no conflict of interest.

About the author:
Elena V. Rezanova, senior lecturer, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (650000, Russia, Kemerovo, Vesennyaya str., 28), e-mail: elen-rezanova@yandex.ru
Roman V. Sadovets, master's student, Bauman Moscow State Technical University (National Research University) (105005, Russia, Moscow, ext. ter., Basmanny Municipal District, 2nd Baumanskaya str., 5, building 1).

Contribution of the authors:
Elena V. Rezanova – setting a research task, scientific management, conceptualization of research, review of relevant literature, data collection and analysis, writing a text, conclusions.
Roman V. Sadovets – setting a research task, scientific management, conceptualization of research, review of relevant literature, data collection and analysis, writing a text, conclusions.

Authors have read and approved the final manuscript.