

DOI: 10.26730/1999-4125-2017-6-1-175-180

УДК 622.684

РАЗРАБОТКА ЗАКОНТУРНОЙ ОПОРНО-ДВИЖИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ГЕОХОДОВ

DEVELOPMENT OF OUTSIDE THE CONTOUR SUPPORT-PROPULSION SYSTEM OF GEOKHOD

Бегляков Вячеслав Юрьевич^{1,2},

кандидат техн. наук, доцент, e-mail: beglyakov@rambler.ru

Beglyakov Vyacheslav Yu. ^{1,2}, Cand.. Sc., Associate Professor

Аксенов Владимир Валерьевич^{1,2},

доктор техн. наук, профессор,

Aksenov Vladimir V. ^{1,2}, D.Sc. (Engineering), Professor

Казанцев Антон Александрович^{1,2},

кандидат техн. наук, доцент,

Kazantsev Anton A. ^{1,2}, Cand.. Sc., Associate Professor

Костищев Ирина Константиновна³

Директор филиала

Kostinets Irina K. ³ Director of branch

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Юргинский технологический институт, Юрга.

652050, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, д. 26, тел. (38451) 7-77-63

¹ National Research Tomsk Polytechnic University, Yurga Institute of Technology, Yurga

652050, Yurga, Leningradskaya str., 26, tel. (38451) 7-77-63

² Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН.

650000 Кемеровская область, г. Кемерово, пр. Советский, д. 18

² Institute of Coal of the Siberian Branch of the RAS

650000, Kemerovo, ave. Sovetski, 18

³ Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

³ T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyya St., Kemerovo, 650000, Russian Federation

Аннотация. Обозначены особенности существующих опорно-движительных систем проходческих машин, которые обуславливают искусственное наращивание металлоемкости, ограничивают области применения и сдерживают развитие научно-технического уровня горных машин. Представлен новый класс проходческих машин – «геоходы». Описан способ движения, который позволяет исключить силу тяжести из обеспечения устойчивости машины и процесса формирования тяговых и напорных усилий. Описан принцип работы контурной опорно-движительной системы геохода. Приведены варианты конструктивных решений, их анализ и области применения. Обозначены задачи, которые планируется решить при создании контурных опорно-движительных систем и пути развития. Рассмотрены преимущества и перспективы применения.

Abstract. The article shows the special features of existing support-propulsion systems of tunneling machines, which necessitate the artificial increase in metal consumption, limit the areas of application and hamper the development of scientific and technical level of mining machines. A new class of tunneling machines – “geokhod” is presented in the work. The description is provided of the method of movement which excludes the force of gravity of the machine from the process ensuring the stability and the process of formation of traction and crowd forces. The article describes as well the principle of operation of outside the contour support-propulsion system of the geokhod. The variants of design solutions, their analysis and areas of application are pesented. The tasks are indicated which are to be solved with the creation of outside the contour support-propulsion systems, and the ways of development. The advantages and application prospects were reviewed.

Ключевые слова: Геоход, внешний движитель, элементы противоворота, опорно-движительная система, геосреда, напорное усилие, винтовая лопасть.

Keywords: Geokhod, external mover, counterrotation elements, supporting-propulsion system, geoenvironment, crowd force, helical blade.

Объемы работ, связанных с формированием и освоением подземного пространства постоянно растут. Это связано не только с добывчей полезных ископаемых, но и, в значительной мере, с ростом транспортного строительства и развитием подземной инфраструктуры городов [1-3]. Это предъявляет требования по повышению производительности вновь создаваемых проходческих систем, а следом, и увеличению напорных усилий на исполнительных органах.

В настоящее время развитие геотехнологий и геотехники идет в основном по пути усовершенствования и модернизации существующих машин и технологий. Принципиальные конструктивные решения существующих опорно-движительных систем проходческих машин сложились еще в первой половине XX-го века, и в течение многих десятилетий остаются неизменными.

В большинстве случаев для создания напорных усилий и обеспечения устойчивости машины используется гравитация Земли. Силы взаимодействия опорно-движительной системы с геосредой складываются из веса и сил трения на границе раздела сред. Располошагающие механизмы подачи не используют силу тяжести, но и в них полезное усилие формируется исключительно за счет сил трения, а значит, усилия нормального воздействия на среду должны многократно превышать напорные и тяговые усилия, что не только увеличивает

Это привело к тому, что увеличение производительности проходческих систем обеспечивается в основном за счет постоянного наращивания массы машин и их энерговооруженности, т.е. развитие идет по экспансивному пути. Создалась парадоксальная ситуация – вместо стремления к снижению металлоемкости машины, её масса рассматривается как один из основных показателей, и увеличение массы включается в число достоинств, а не наоборот.

В то же время стремление к снижению металлоемкости в таких областях как авиа-, судо- и автомобилестроение стимулирует создание новых перспективных материалов, рациональных конструктивных и компоновочных решений, и в целом обуславливает повышение научно-технического уровня производства и продукции в этих отраслях [7, 8] по сравнению с продукцией горного машиностроения.

На основании ряда проведенных исследований [9-12] был предложен отличный от традиционного подход к процессу проведения горных выработок, основная идея – рассматривать проходку выработки как процесс движения твердого тела (проходческого оборудования) в твердой среде. На основе этого подхода коллективом ученых и инженеров ЮТИ ТПУ, КузГТУ и ФИЦ УУХ СО РАН и ведутся работы по созданию принципиально нового вида проходческих машин – геоходов [11]. Способ

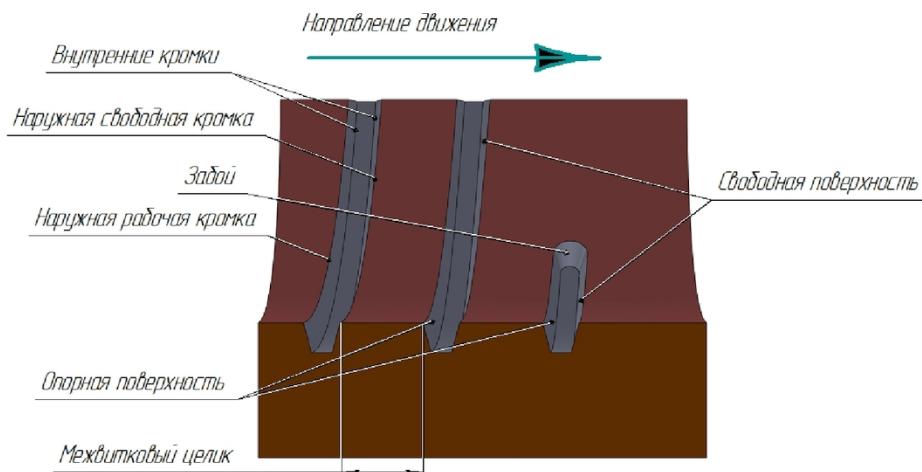


Рисунок 1 – Элементы законтурного канала внешнего движителя

металлоемкость, но и ограничивает область применения по устойчивости пород [4-6]. Исключение составляют проходческие системы, использующие опирание на постоянную крепь. Но они накладывают серьезные ограничения на конструкцию крепи и на область применения проходческой системы в целом.

взаимодействия геоходов с геосредой аналогичен взаимодействию летательных аппаратов с газообразной и подводных аппаратов с жидкостью средами [12]. Создание тягового усилия и опирания геохода на геосреду основано на работе законтурной опорно-движительной системы (ЗОДС) внутри среды, а не на границе раздела твердой и подвижной сред. Для обеспечения работоспособности



Рисунок 2 – Опытный образец – «Геоход-401»

ЗОДС введена дополнительная технологическая операция по формированию системы законтурных каналов (рис. 1).

Законтурные элементы (ЗЭ) выполняют функции, аналогичные функциям, выполняемым шасси и ходовым оборудованием самоходных машин. Но принцип работы ЗЭ геохода имеет ряд отличий от принципа работы опорных и ходовых систем других горных машин. А именно:

- разделение функций движения и стабилизации (у геохода за движение «отвечает» движитель, за стабилизацию – элементы противовращения, у других машин и ту и другую функцию выполняет ходовое оборудование);
- исключение веса машины из процесса формирования тягового и напорного усилий;
- возможность движения под любым углом к горизонту.

По принципу действия ЗЭ геохода близки к

металлоемкость машины определяется только требованиями к конструктивной прочности и не преследует цели искусственного увеличения веса.

На данный момент построено два экспериментальных образца геоходов: «ЭЛАНГ-3» и «ЭЛАНГ-4» и один опытный образец «Геоход-401» (рис. 2), стендовые и шахтные испытания доказали принципиальную работоспособность способа взаимодействия ЗОДС геоходов с геосредой, выявили особенности работы ЗОДС, позволили наработать первичный опыт их проектирования. На основании полученных данных сейчас ведутся работы по обоснованию основных параметров ЗОДС.

В состав ЗОДС существующих геоходов вошли лопасти ВД и ЭП и их исполнительные органы. Параметры элементов ЗОДС определялись из условий прочности и производительности, при этом, ввиду недостаточности исходных данных и апробации

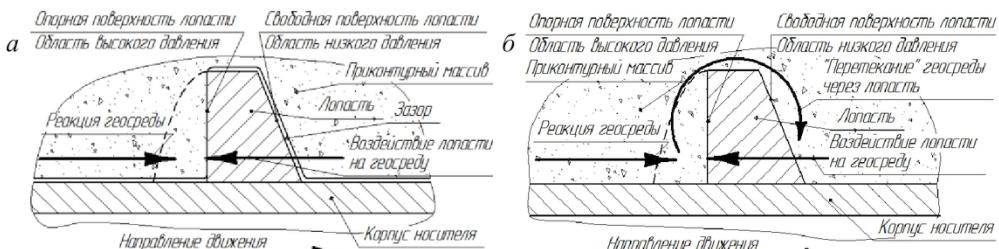


Рисунок 3 – Схемы взаимодействия лопасти с геосредой

гребным винтом и стабилизирующими элементами подводных лодок. Но их отличает наличие жесткой kinematicской связи между углом поворота движителя и перемещением машины, в основе движения лежит принцип ввинчивания в среду, а не обмен импульсом.

Исключение веса из процесса формирования тягового усилия и обеспечения устойчивости создает предпосылки к снижению металлоемкости. И

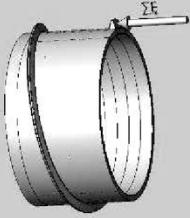
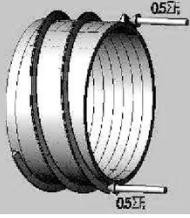
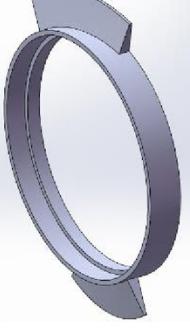
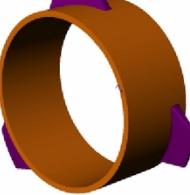
конструктивных решений, в расчеты закладывались значительные коэффициенты запаса. При этом не проводилась оптимизация параметров по условиям снижения сопротивления движению, уменьшения объемов формируемых каналов, снижения энергопотребления и др.

Основное внимание при проектировании элементов ЗОДС уделялось внешнему движителю. Разработано несколько принципиально отличающихся конструктивных схем ВД геоходов, определены области их применения.

Краткое описание некоторых конструктивных схем ВД геоходов приведено в таблице 1.

В первой строке таблицы представлена схема движителя с длинной однозаходной винтовой лопастью.

Таблица 1 – Основные конструктивные схемы ВД геохода

№ схемы	Конструктивная схема	Описание
1		Движитель с однозаходной винтовой лопастью На боковой поверхности вращающейся цилиндрической оболочки закреплена лопасть в виде винтовой навивки с углом обхвата более 360° и относительно малыми радиальными размерами.
2		Движитель с многозаходной винтовой лопастью На вращающейся оболочке аналогично схеме №1 закреплены две или более винтовых лопасти с обхватом более 360° . Усилие распределяется между лопастями.
3		Многозаходный движитель пропеллерного типа На боковой поверхности вращающейся оболочки закреплены две или три лопасти с небольшой угловой протяженностью и с большими по сравнению со схемами №1 и №2 радиальными размерами. Все лопасти расположены на одном уровне по фронту, каждая лопасть перемещается в своем винтовом законтурном канале.
4		Однозаходный многолопастной внешний движитель пропеллерного типа На боковой поверхности вращающейся оболочки аналогично схеме №4 закреплены короткие лопасти. Все лопасти расположены на одной общей винтовой линии и перемещаются по одному законтурному каналу.

Ввинчивание движителя в винтовой законтурный канал по крепким и средним породам возможно только при наличии зазоров между боковыми поверхностями движителя и боками законтурного канала (рис. 3 а). При ограниченной податливости невозможно обеспечить полное совпадение опорных поверхностей движителя и канала по всей длине лопасти. И, наоборот, при работе движителя в слабых и сыпучих породах (рис. 3 б) податливость пород обеспечивает равномерное распределение нагрузки по длине лопасти. Это послужило аргументом при определении областей применения движителей с короткими и длинными лопастями.

пастью. Взаимодействие такого движителя с крепкой породой будет происходить на локальном участке, расположение пятна контакта будет носить вероятностный характер, что может привести к перекосу и заклиниванию геохода в выработке.

Однозаходный винт обеспечивает максимальную несущую способность межвиткового целика, позволяет применять минимальные углы подъема винтовой линии, что обеспечивает снижение требований к необходимому крутящему моменту.

Поэтому применение движителя типа «однозаходная винтовая лопасть» целесообразно при проходке подземных горных выработок в слабых и сыпучих породах, обладающих достаточной податли-

востью и даже подвижностью. При работе в сыпучих грунтах увеличение длины лопасти позволит достигнуть увеличения тягового усилия.

При однозаходной винтовой лопасти осевое расстояние между законтурными виттовыми каналами равно шагу винтовой лопасти.

В строке 2 таблицы 1 представлена схема движителя с многозаходной винтовой лопастью. При многозаходной винтовой лопасти осевое расстояние между витками законтурных виттовых каналов кратно меньше шага винтовой лопасти.

Взаимодействие такого движителя с породой будет происходить на нескольких локальных участках, количество которых равно числу заходов, как показано на схеме в таблице 1. Наличие нескольких лопастей снижает вероятность перекоса при неравномерном распределении пятна взаимодействия лопасти с геосредой. Но применение многозаходного винта требует либо увеличения угла подъема винтовой линии, либо уменьшения мощности межвиткового целика. Увеличение угла подъема винтовой линии приводит к увеличению необходимого приводного момента, а уменьшение мощности межвиткового целика – к снижению его несущей способности.

Поэтому область применения многозаходной винтовой лопасти близка к области применения однозаходных винтовых лопастей и несколько смещена в сторону более крепких пород.

В строке 3 таблицы 1 представлен движитель пропеллерного типа. Короткие лопасти движущиеся каждая в своем винтовом канале обеспечивают определенность мест приложения сил, а, следовательно, и хорошее центрирование. Но короткая лопасть неработоспособна в слабых и подвижных средах, кроме того, многозаходность дополнительно уменьшает несущую способность межвиткового целика и требует увеличения шага винтовой линии. Поэтому область применения такого движителя ограничена только крепкими породами.

В строке 4 таблицы 1 представлена схема ВД, лопасти которого расположены в разных фазах на одной винтовой линии. Это снижает требования к прочности породы. Расположение лопастей на одной винтовой линии позволяет увеличить мощность межвиткового целика. Но взаимодействие такого движителя с геосредой происходит по трем коротким участкам, расположенным центрально симметрично относительно оси выработки. Это

обеспечивает хорошее центрирование, но только при условии достаточно точного взаимного расположения лопастей либо при управляемых геометрических параметрах.

Также необходимо заметить, что применение коротких лопастей обеспечивает возможность их демонтажа и замены в условиях выработки.

Многообразие конструктивных решений и горнотехнических условий дополняется различиями назначений проводимых выработок. Это ставит задачи определения функций и обоснования параметров трех взаимосвязанных групп, входящих в ЗОДС: опорные элементы машины (лопасти ВД и ЭП, оболочки, места сопряжений), опорные элементы геосреды (законтурные каналы, опорные поверхности, целики) и оборудование для формирования законтурных каналов (ОИ ВД, ИО ЗЭ и их приводы).

Функции, выполняемые различными элементами ЗОДС, могут быть разделены, а могут и частично дублироваться. Например, функции винтовых лопастей могут быть ограничены созданием тягового и напорного усилий, а в некоторых компоновочных решениях могут выполнять также и функцию элемента противовращения. Функции продольных лопастей могут ограничиваться компенсацией реактивного момента от ВД, а могут быть расширены на управление углом крена машины. Функции ОИ ВД и ИО ЗЭ могут ограничиваться формированием законтурного канала, а могут быть расширены на управление углом атаки лопасти. Список примеров неоднозначности функционального назначения элементов ЗОДС можно расширить.

Не смотря на уже проведенные теоретические и экспериментальные исследования, можно утверждать, что работа по обоснованию параметров законтурных опорно-движительных систем геоходов находится на начальном этапе и требует научных и инженерных изысканий.

Применение законтурных опорных систем, исключение силы тяжести и вовлечение геосреды в процесс движения проходческих машин позволит расширить области их применения и обеспечить универсальность в части углов наклона проводимых выработок, позволит обеспечить работоспособность в условиях слабой гравитации или при отсутствии таковой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алпатов С. Н. Освоение подземного пространства как необходимое условие развития мегаполиса //URL: Dormost. spb. ru/assets/files/docs/ALPATOV-text. doc (дата обращения: 01.10. 2014). – 2011.
2. Беляев В. Л. Планирование градостроительного освоения подземного пространства г. Москвы //Вестник МГСУ. – 2013. – №. 1.
3. Oreste P. Back-analysis techniques for the improvement of the understanding of rock in underground constructions //Tunnelling and Underground Space Technology. – 2005. – Т. 20. – №. 1. – С. 7-21.

4. Pujades E. et al. Barrier effect of underground structures on aquifers //Engineering geology. – 2012. – Т. 145. – С. 41-49.
5. Xu Y. S. et al. Evaluation of land subsidence by considering underground structures that penetrate the aquifers of Shanghai, China //Hydrogeology Journal. – 2012. – Т. 20. – №. 8. – С. 1623-1634.
6. Xu Y. S. et al. Analysis of urbanisation-induced land subsidence in Shanghai //Natural Hazards. – 2012. – Т. 63. – №. 2. – С. 1255-1267.
7. РД 50-217-84 Методические указания по оценке научно-технического уровня стандартов на промышленную продукцию
8. Трифилова А.А. Оценка эффективности инновационного развития предприятия / А.А. Трифилова. - М.: Финансы и статистика. 2005, - 304 с.
9. Аксенов В. В., Костиц И. К., Бегляков В. Ю. Особенности работы внешнего движителя геохода//ГИАБ. 2013. № S6. С. 419-425.
10. Аксенов В.В., Бегляков В.Ю., Казанцев А.А., Вальтер А.В., Ефременков А.Б. Опыт участия в проекте по организации высокотехнологичного производства//Горное оборудование и электромеханика. - 2016. № 8 (126). -С. 8-15.
11. Аксенов В.В., Бегляков В.Ю., Блащук М.Ю., Ефременков А.Б., Казанцев А.А., Хорешок А.А., Вальтер А.В. Геоход: задачи, характеристики, перспективы//Горное оборудование и электромеханика. - 2016. -Геоход. -№ 8 (126). -С. 3-8.
12. Вальтер А.В., Нозирзода Ш.С., Ивкин А.Н. Исследование точности изготовления крупногабаритных корпусов вращения опытного образца геохода//Научно-методический журнал «Концепт». -2016. -Т. 11. -С. 2026-2030.

REFERENCES

1. Alpatov SN The development of underground space as a necessary condition for the development of a metropolis // URL: Dormost. spb. com / assets / files / docs / ALPATOV-text. doc (date of circulation: 01.10. 2014). - 2011.
2. Belyaev VL Planning of Urban Development of the Underground Space of Moscow // Vestnik MGSU. - 2013. - No. 1.
3. Oreste P. Back-analysis techniques for the improvement of the understanding of rock in underground constructions //Tunnelling and Underground Space Technology. – 2005. – Т. 20. – №. 1. – С. 7-21.
4. Pujades E. et al. Barrier effect of underground structures on aquifers //Engineering geology. – 2012. – Т. 145. – С. 41-49.
5. Xu Y. S. et al. Evaluation of land subsidence by considering underground structures that penetrate the aquifers of Shanghai, China //Hydrogeology Journal. – 2012. – Т. 20. – №. 8. – С. 1623-1634.
6. Xu Y. S. et al. Analysis of urbanisation-induced land subsidence in Shanghai //Natural Hazards. – 2012. – Т. 63. – №. 2. – С. 1255-1267.
7. RD 50-217-84 Methodological guidelines for the evaluation of the scientific and technical level of standards for industrial products
8. Trifilova AA Evaluation of the effectiveness of innovative development of the enterprise / A.A. Trifilov. - Moscow: Finance and Statistics. 2005, - 304 p.
9. Aksenov, V. V., Beglyakov, V. Y., Kazantsev, A. A., & Saprykin, A. S. (2016, April). Substantiating Ways of Load Application When Modeling Interaction of a Multiincisal Mining Machine Actuator With Rocks. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 127, No. 1, p. 012032). IOP Publishing.
10. Aksenov, V. V., Beglyakov, V. Y., Kazantsev, A. A., & Doroshenko, I. V. (2016, April). Development of Requirements for a Basic Standardized Mathematical Model of Geokhod. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 127, No. 1, p. 012031). IOP Publishing.
11. Sadovets, V. Y., Beglyakov, V. Y., & Aksenov, V. V. (2015). Development of math model of geokhod bladed working bodyinteraction with geo-environment. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 91: VI International Scientific Practical Conference on Innovative Technologies and Economics in Engineering, Yurga, Russia, 21-23 May 2015.—United Kingdom, 2015. (Vol. 91, p. 12085). IOP Publishing.
12. Walter AV, Nozirzoda S.S., Ivkin A.N. Investigation of the accuracy of manufacturing large-sized rotor hulls of the prototype of the geodrome // Scientific and methodical journal "Concept". -2016. -Т. 11.-С. 2026-2030.

Поступило в редакцию 05.11.2017

Received 05.11.2017