

8. Моделирование нелинейной динамики глобальных процессов /Под. ред. И. В. Ильина, Д. И. Трубецкова. – М.: Издательство Московского университета, 2010. – 412 с.
9. Мухаметшин, А.А. Повышение эффективности использования тракторов путем оптимизации сроков и объемов ремонтно-обслуживающих воздействий (на примере хозяйств Республики Татарстан): автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Мухаметшин Альберт Ахатович. – Уфа, 2013. – 16 с.
10. ГОСТР 27.601–2011. Надежность в технике. Управление надежностью. Техническое обслуживание и его обеспечение. – М., Стандартинформ, 2013. – 36 с.
11. Разумов, В.И. Категориально- системная методология подготовки ученых: Учебное пособие / Вст. ст. А.Г. Теслинова / В.И.Разумов. – Омск, Омск гос. ун-т, 2004. – 277 с.

### **ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ТРАНСМИССИИ ГЕОХОДА ЭКСЦЕНТРИКОВО-ЦИКЛОИДАЛЬНОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ**

*Д.С. Трухманов<sup>1,2</sup>, ст. преп., инженер-констр. I кат., В.В. Аксенов<sup>3</sup>  
, д.т.н., проф., Г.М. Дубов<sup>1</sup>, к.т.н., доц.*

<sup>1</sup>*Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово,  
ул. Весенняя 28, тел. (3842) 68-23-14*

<sup>2</sup>*ООО «Центр транспортных систем»,  
650000, г. Кемерово, ул. Шахтерская 2, тел. (3842) 49-65-47*

<sup>3</sup>*Юргинский технологический институт (филиал) федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский по-  
литехнический университет»*

*652055, г. Юрга, ул. Ленинградская 26, тел. (38451) 7-77-67*

*E-mail: [trizart@mail.ru](mailto:trizart@mail.ru)*

Рассматривается состояние вопроса по темпам формирования подземного пространства в России. Проводится анализ недостатков имеющегося проходческого оборудования (щиты, комбайны). Отмечается, что перспективным способом проведения горных выработок является геовинчестерная технология, базовым функциональным элементом которой является геоход. Утверждается, что одной из ключевых систем геохода, определяющей его работоспособность, является трансмиссия. Отмечается, что реализованная в настоящее время в опытном образце геохода трансмиссия с гидроцилиндрами, имеет, как свои достоинства, так и недостатки. Это не позволяет считать трансмиссию с гидроцилиндрами оптимальным решением для её использования, при разработке геоходов нового поколения. Проводится обзор различных видов зубчатых зацеплений и делаются выводы о перспективности их применения в трансмиссии геохода.

Потребность в твердых полезных ископаемых в мире ежегодно возрастает на 0,6 -1,5% [1]. В программе развития угольной промышленности России планируется увеличение добычи угля до 500 млн. т. в год к 2030 г. [2]. Достижения указанных объемов возможно только при освоения новых месторождений Сибири и Дальнего Востока [2]. Это приведет к формированию значительной потребности в мобильной и высокопроизводительной горнопроходческой технике, поскольку строительство подземных выработок является одним из самых трудо- и капиталоемких процессов в производственной цепи в горнодобывающей промышленности.

Стоит также отметить, что работы, связанные с формированием подземного пространства, не ограничиваются добывающей промышленностью. Более подробные данные по объектам и объему рынка строительства подземных сооружений в России приведены в таблице 1. Темпы роста рынка строительства подземных выработок в России в натуральном выражении составляют от 9 до 27% [3], в то время, как доля подземного строительства в общем объеме строительных работ находится на уровне 20-25% [3].

Таблица 1

Объем рынка строительства подземных сооружений в России, 2012 – 2015 гг., км [3]

Объекты подземного строительства	Средние диаметры, м	2012 г., км	2013 г., км	2014 г. *, км	2015 г. *, км
Тоннели метрополитена	от 5,5	30,0	48,0	52,0	98,0
Автомобильные тоннели	от 7 до 12	16,5	12,0	14,0	11,1
Ж/д тоннели	от 5	4,0	4,2	6,4	6,8
Технические тоннели (трубно-кабельные коллекторы, трубопроводы)	от 2 до 6,5 (чаще до 4)	428,8	566,9	621,4	685,7
Угольные шахты	от 4	39,1	40,3	42,3	43,5
Рудники твердых пород (включая калийные соли)	от 6,5	55,9	57,6	60,4	62,1
Туннели ГЭС (гидротехнические)	от 2 до 6	-	-	-	-
Прочие объекты	до 4	57,4	72,9	79,7	90,7
Всего		574,3	729,0	796,5	907,2

\*Данные за 2014 и 2015 гг. в [1] приведены в качестве прогнозных, т.к. исследование проводилось в конце 2014 г.

Проведение вышеуказанного объема выработок проводилось и планируется проводиться проходческими щитами и комбайнами. Однако, ввиду ряда конструктивных особенностей, в указанных проходческих агрегатах, напорные и тяговые усилия развиваются в основном за счет массы, а в их основе лежат схемные и конструктивные решения, разработанные еще в середине прошлого века. Поэтому, повышение производительности достигается преимущественно за счет увеличения мощности и металлоемкости (например, масса проходческого комбайна JOY 12НМ36 составляет 120 тонн). Это приводит к снижению маневренности и скоростей проходки, сложности обеспечения безопасности в призабойной зоне, ограничивает применимость данного вида оборудования по углам наклона проводимой выработки. Появление указанных недостатков делает применение традиционного проходческого оборудования нерациональным для достижения объемов выработки, продиктованных текущими потребностями промышленности.

Альтернативным способом проведения горизонтальных и наклонных горных выработок является геовинчестерная технология (ГВТ) – процесс механизированного строительства подземных выработок с вовлечением приконтурного массива горных пород (геосреды), за счет формирования системы законтурных каналов [4-6]. Помимо обозначенных выше задач, связанных со строительством подземных выработок, еще одним назначением ГВТ может служить проведение аварийно-спасательных работ при ликвидации последствий техногенных катастроф и в чрезвычайных ситуациях на горнодобывающих предприятиях [6]. Проходческим агрегатом, реализующим ГВТ является геоход [3-8]. В настоящее время ведутся работы по созданию нового поколения геоходов и его систем [9-14].

Для движения геохода, как и любого движущегося агрегата, необходима трансмиссия – механизм, осуществляющий преобразование энергии от силовой установки и передающий требуемое усилие на внешний движитель. Именно трансмиссией геохода определяются предельные значения развиваемого вращающего момента и скорость движения в геосреде.

Ранее, в опытном образце геохода была реализована трансмиссия с гидроцилиндрами, расположенными по хордам и работающими в противофазе [15]. Для достижения равномерности движения, гидроцилиндры работают попеременно - когда штоки гидроцилиндров одной группы выдвигаются, штоки другой группы совершают обратный ход [15]. Одна из компоновочных схем, реализующая описанный принцип работы, представлена на рис. 1. Аналогичная схема была реализована в опытном образце геохода, но с группировкой гидроцилиндров в двух плоскостях.

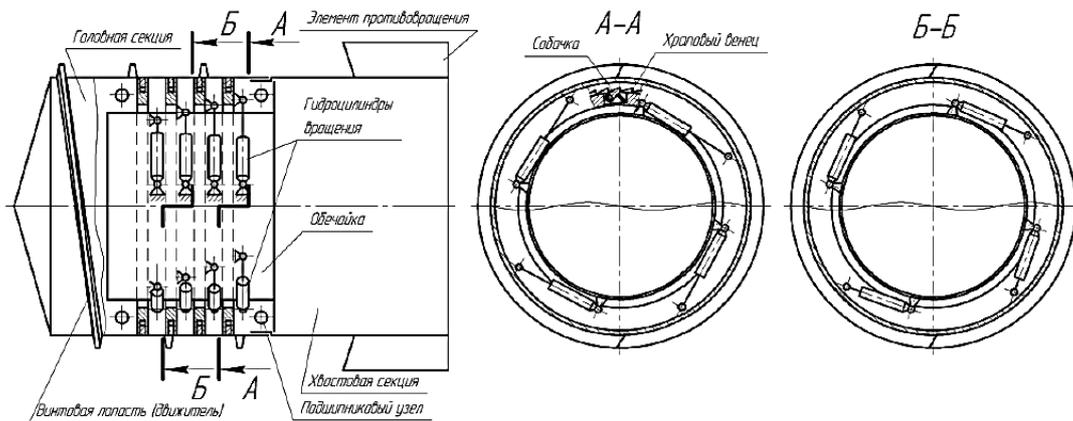


Рис. 1. Компонентная схема с разными фазами выдвигения гидроцилиндров, сгруппированных в четырех плоскостях [15]

Очевидные достоинства данного решения [7, 15]:

- возможность развивать высокие вращающие моменты;
- возможность непрерывного движения геодога;
- обеспечения необходимого свободного пространства внутри геодога;
- снижение массогабаритных характеристик;
- удобство управления.

Однако, несмотря на перечисленные достоинства трансмиссии геодога с гидроцилиндрами, в ней также имеется ряд существенных недостатков, главные из которых [7, 15]:

- высокие требования к точности изготовления и сложность монтажа и ремонта в стесненных условиях призабойной зоны при строительстве подземных выработок;
- сложность достижения непрерывного движения геодога;
- сложность синхронизации гидроцилиндров из-за особенностей гидравлических систем;
- при непрерывном вращении в формировании крутящего момента участвует только часть гидроцилиндров;
- сложность организации реверсивного движения геодога;
- закрутка рукавов высокого давления (РВД) в процессе вращения головной секции.

Наличие данных недостатков не позволяет считать трансмиссию с гидроцилиндрами наиболее подходящим решением для применения в качестве трансмиссии геодога нового поколения и создает предпосылки к проведению дальнейших исследований в данной области и рассмотрению другого типа трансмиссии.

Одним из способов решения обозначенных проблем может стать создание трансмиссии геодога на зубчатой передаче. В частности, при применении зубчатой передачи упрощается монтаж и ремонт, отсутствуют проблемы, связанные со сложностью реализации непрерывности движения геодога и его реверса, а также специфические проблемы, характерные для гидравлического оборудования. Однако, далеко не все виды зубчатых передач могут быть использованы в качестве высоконагруженных передач, к тому же, в агрессивной среде работы, которая, безусловно, возникает при строительстве подземных выработок.

Самой распространенной является зубчатая передача с эвольвентным зацеплением. Однако, несмотря на все достоинства, данный вид зацепления имеет и недостатки, связанные, в первую очередь, с относительно невысокой несущей способностью, определяемой размерами зубьев, а также ограничением по величине передаточного отношения в одной ступени - на практике оно редко бывает больше 7.

Наиболее известные среди видов зубчатых зацеплений, обладающих рядом преимуществ перед эвольвентным, являются циклоидально-цевочное зацепление [16] и зацепление Новикова – Вильбхабера [16]. Однако, эти зацепления не нашли широкого применения, т.к. имея более высокую нагрузочную способность и повышенный КПД, они уступают эвольвентному, в частности, по технологичности. Поскольку, они гораздо более чувствительны к изменению межосевого расстояния, и для них требуется более высокая точность изготовления.

В последнее время получают распространение механизмы с новой зубчатой передачей – эксцентриково-циклоидальным (ЭЦ) зацеплением. В частности, на базе данного зацепления были произведены и введены в эксплуатацию [17]: осевой тяговый редуктор железнодорожного локомотива МПТб, главная передача БелАЗ-7555, тяговый редуктор подземного электровоза К-25, а также открытые редукторы градирен, дожимной компрессор на нефтепромыслах, шестеренчатый мультифазный насос, погружной насос для нефтедобычи, насос подачи бурового раствора, редуктор ветро-энерго установки, паровые турбины, ЭЦ-ДВС, рулевая колонка ДРК-8500Л, усилитель крутящего момента УКМ1700, вертолетный редуктор, редукторы карьерных экскаваторов, редуктор вращения антенны и др.

Торцевое сечение рабочей части зуба ведущего колеса ЭЦ-зацепления представляет собой окружность, эксцентрично смещенную относительно оси вращения колеса, а зубы ведомого колеса имеют профиль в виде циклоидальной кривой (см. рис. 2-3) [18-20]. Благодаря такой конструкции, зубья в ЭЦ-зацеплении работают на смятие [16-18, 21], а не на изгиб, как в эвольвентном, что позволяет обеспечить широкий диапазон передаточных отношений, при минимальной массе редуктора на единицу передаваемого момента. Увеличенное за счет округлой формы зуба пятно контакта - позволяет уменьшить удельное давление и увеличить тем самым несущую способность зубьев [16-17]. А постоянный контакт колес в зацеплении – позволяет избавиться от шума и вибрации [16-17].



Рис. 2. Редуктор с ЭЦ-шестернями [17]

Согласно результатам компьютерного моделирования, проведенного в работе [21] - ЭЦ-зацепление допускает значительно большие отклонения от расчетного межосевого расстояния, нежели эвольвентное, а расположение пятна контакта на поверхности зубьев позволяет выполнять вершины и впадины зубьев произвольной формы. Все это позволяет значительно снизить площадь поверхностей, требующих точной обработки.

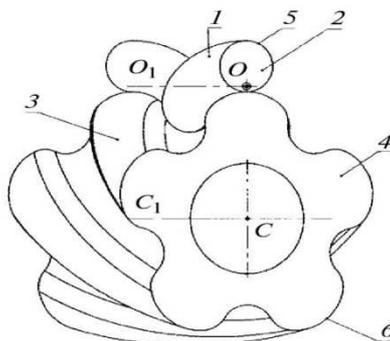


Рис. 3. Поверхности зубьев колеса идеального зацепления [20]

1 – винтовая поверхность колеса; 2, 3 – винтовая поверхность зубьев колеса; 4, 5 – эксцентрично смещенная окружность; 6 – циклоидальная кривая в торцевом сечении колеса 4.

В рамках аванпроекта Фонда Перспективных Исследований в ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (г. Санкт-Петербург) были проведены сравнительные испытания с тестовым редуктором 5Ц2-125-12,5 с эвольвентным зацеплением производства АО «ЗАРЕМ» [28]. В ходе испытаний было выявлено, что КПД в ЭЦ-редукторе на 2% выше, а предельный момент на слом больше на 25% [17].

Также, авторами [22] отмечается, что несмотря на отсутствие фактических доказательств по некоторым из заявленных характеристик ЭЦ-зацепления, его производство является более технологичным, нежели других видов зацепления, и способно осуществляться на менее дорогостоящем оборудовании.

Отсутствие технически и научно обоснованных решений трансмиссии геохода с зубчатой передачей и методик определения ее параметров сдерживает работы по созданию геоходов нового поколения, ведущиеся в настоящее время. Проведенный анализ зубчатых зацеплений, позволяет сделать предварительный вывод о том, что ЭЦ-зацепление является одним из самых перспективных для применения его в трансмиссии геоходов. Поэтому исследования, направленные на возможность использования в трансмиссии геохода эксцентриково-циклоидального зацепления, являются актуальными.

#### Список литературы

1. Опарин, В.Н. Состояние и проблемы минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых России [Текст] / В.Н. Опарин, А.М. Фрейдин, А.П. Тапсиев, П.А. Филиппов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых / Новосибирск: ФГУП, 2013. - №4. – С. 173-181.
2. Дубов, Г.М. Сравнительный анализ оснащенности угольных предприятий горношахтным оборудованием отечественного и импортного производства [Текст] / Г.М. Дубов // Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении (ТЭК-2017): сборник трудов международной науч.-практ. конф. 18-21 апреля 2017 года / под ред. А.Н. Смирнова. – Кемерово: КузГТУ, 2017. – С. 45 - 50.
3. Маркетинговое исследование рынка проходческих щитов и оценка объемов работ по строительству подземных выработок (сооружений) в России, 2012 – 2015 гг. / Megaresearch. – Москва, 2014.
4. Аксенов, В.В. Геовинчестерная технология проведения горных выработок. – Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, 2004, 264 с., с ил.
5. Аксенов, В.В. Научные основы геовинчестерной технологии проведения горных выработок и создания винтоповоротных агрегатов: дис. док. техн. наук. – Кемерово: ИУУ СО РАН, 2005. - 307 с.
6. Аксенов, В.В. К вопросу о создании новой технологии аварийно-спасательных выработок при ликвидации техногенных катастроф / В.В. Аксенов, В.Ю. Тимофеев, А.В. Сапожкова, В.Ф. Горбунов // Горный информационный аналитический бюллетень. Промышленная безопасность и охрана труда на предприятиях топливно-энергетического комплекса / Москва: МГТУ, 2011 – ОВ №9. – С. 60-68.
7. Ефременков, А.Б. Разработка научных основ создания систем геохода: дис. док. техн. наук. – Кемерово: КузГТУ, 2016. - 314 с.
8. Аксенов, В.В. Геовинчестерная технология и геоходы - инновационный подход к освоению подземного пространства / В.В. Аксенов, А.Б. Ефременков // Известия высших учебных заведений. Горный журнал / Екатеринбург: УГГУ, 2008. – С. 19-28.
9. Аксенов, В.В. Геоход: задачи, характеристики, перспективы / В.В. Аксенов, В.Ю. Бегляков, М.Ю. Блащук, А.Б. Ефременков, А.А. Казанцев, А.А. Хорешок, А.В. Вальтер // Горное оборудование и электромеханика / Москва: Изд-во «Новые технологии», 2016. - №8(126). – С. 3-8.
10. Аксенов, В.В. Геоходы - основа создания нового геотехнологического инструментария для формирования подземного пространства и подземной робототехники [Текст] / В.В. Аксенов, А.А. Хорешок, А.Б. Ефременков, А.А. Казанцев, В.Ю. Бегляков, А.В. Вальтер // Перспективы инновационного развития угольных регионов России: сб. трудов V Международной науч.-практ. конф. / Ответственные редакторы Пудов Е. Ю., Клаус О. А., Прокопьевск, 2016. – Прокопьевск: Филиал КузГТУ в г. Прокопьевск, 2016. – С. 277-288.
11. Бегляков В.Ю. Определение сил взаимодействия основных систем геохода с геосредой и между собой / В.Ю. Бегляков, В.В. Аксенов, И.К. Костинцев, А.А. Хорешок // Горные науки и технологии / Москва: НИТУ «МИСиС», 2017. - №4. – С 23-28.
12. Аксенов, В.В. Общая структура и требования к системе управления геоходом / В.В. Аксенов, И.В. Чичерин // Вестник КузГТУ. – 2017. - №6 (124). - С. 41-47.
13. Бегляков, В.Ю. Разработка законтурной опорно-двигательной системы геоходов / В.Ю. Бегляков, В.В. Аксенов, А.А. Казанцев, И.А. Костинцев // Вестник КузГТУ. – 2017. - №6 (124). - С. 175-181.
14. Коперчук, А.В. Варианты стартовых систем геохода / А.В. Коперчук, В.В. Ворошилов / Перспективы инновационного развития угольных регионов России: сб. трудов V Международной науч.-практ. конф. / ответственные редакторы Пудов Е.Ю., Клаус О.А., Прокопьевск, 2016. – Прокопьевск: Филиал КузГТУ в г. Прокопьевске. - С. 130-132.

15. Блашук, М.Ю. Гидравлические трансмиссии геолоходов: монография / М.Ю. Блашук, В.В. Аксенов, А.Б. Ефременков. Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 123 с.
16. Становской, В.В. Двухступенчатый редуктор на основе эксцентриково-циклоидального зацепления (зацепление *exsugear*) [Текст] / В.В. Становской, С.М. Казакиявичюс, Т.А. Ремнева, В.М. Кузнецов, А.М. Бубенчиков, Н.Р. Щербаков, Й. Шмидт // Вестник машиностроения. – 2011. - № 12. – С. 41-44.
17. Технология Маркет [Электронный ресурс] / ЗАО «Технология маркет». – Сайт компании. – Томск, 2018. – Режим доступа: <http://www.ec-gearing.ru/index.php>
18. Становской, В.В. Эксцентриково-циклоидальное зацепление зубчатых колес и механизмы на его основе / В.В. Становской, С.М. Казакиявичюс, Т.А. Ремнева, В.М. Кузнецов // Теория и практика зубчатых передач и редуктостроения: сб. докл. научно-тех. конф. / ИжГТУ. – Ижевск, 2008. – С. 148–152.
19. Пат. 2439401. Российская Федерация. Эксцентриково-циклоидальное зацепление зубчатых профилей (варианты) / Становской В.В., Казакиявичюс С.М., Ремнева Т.А., Кузнецов В.М., Становской А.В.; заявитель и правообладатель Становской В.В. - № 2010103071/11; заявл. 29.01.2010; бюл. № 22, 2012.
20. Пат. 2416748. Российская Федерация. Эксцентриково-циклоидальное зацепление зубчатых профилей (варианты) / Становской В.В., Казакиявичюс С.М., Ремнева Т.А., Кузнецов В.М., Становской А.В.; заявитель и правообладатель Становской В.В. - № 2010103286/11; заявл. 01.02.2010; бюл. № 11, 2011.
21. Казакиявичюс С.М. Работоспособность эксцентриково-циклоидального зацепления при изменении межосевого расстояния колес. Модификация вершин и впадин зубьев / С.М. Казакиявичюс, В.В. Становской, Т.А. Ремнева // Вестник машиностроения. – 2011. - №3, стр. 7-9.
22. Леонтьев, М.Ю. Обзор достоинств и недостатков эксцентриково-циклоидального зацепления [Текст] / М.Ю. Леонтьев, В.А. Раевский, А.Е. Смоловик // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 7-5. С. 54 – 57.

## ПОВЫШЕНИЕ УРОЖАЙНОСТИ В АПК С УЧЕТОМ ИННОВАЦИЙ И ДРУГИХ ФАКТОРОВ

*В.Н. Есаулов, к.э.н., доцент, Семеренко И.А., студент, гр.17Б41.*

*Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)-6-44-32,  
E-mail: [elaresy@mail.ru](mailto:elaresy@mail.ru)*

В статье подняты актуальные вопросы продовольственной безопасности страны при существующих санкциях. Трудности импортозамещения рассмотрены в рамках российского агропромышленного комплекса (АПК). Обозначены существующие проблемы в сельскохозяйственном секторе экономики и предложены пути их преодоления. Исследованы направления инноваций в сельском хозяйстве, эффективные технологии в АПК, а также факторы, сдерживающие их внедрение в производство. Даны рекомендации доведения инноваций до производства.

The article raised topical issues of food security of the country under existing sanctions. Difficulties of import substitution were considered within the framework of the Russian agroindustrial complex (AIC). The article identified the existing problems in the agricultural sector of the economy and proposed ways to overcome them. The directions of innovations in agriculture, effective technologies in the agroindustrial complex, as well as the factors that inhibit their introduction into production are studied. There are given recommendations for bringing innovations to production.

Продовольственная безопасность – это продовольственная независимость России при стабильном отечественном производстве пищевой продукции в необходимых объемах для внутреннего потребления [1]. Продовольственная безопасность основывается на ускоренном развитии и модернизации агропромышленного комплекса, «государственной поддержки сельскохозяйственных товаропроизводителей», «предотвращения истощения и сокращения площадей сельскохозяйственных земель и пахотных угодий» [2], это одно из основных составляющих безопасности нашей страны. Земля, при рачительном использовании, становится неиссякаемым источником благополучия каждого государства.

В условиях санкций особенно важно суметь использовать создавшиеся проблемы в свои преимущества. Для этого необходимо энергично встать на путь импортозамещения, активно занимать освободившиеся места на рынке продовольствия [3]. При этом развивается отечественное производство, сокращается безработица, создаются новые рабочие места. До сих пор актуально и современно высказывание французского философа Жан-Жака Руссо: «Единственное средство удержать госу-