

ГОРНЫЕ МАШИНЫ И КОМПЛЕКСЫ

УДК 622.002.5

В.В. Аксенов, А.Б. Ефременков, В.Ю. Тимофеев, М.Ю. Блащук

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАНТОВ ГИДРО- И ЭЛЕКТРОПРИВОДА В ТРАНСМИССИИ ГЕОХОДА

Существующие технологии и оборудование для формирования подземного пространства накопили в своем развитии большое количество научно-технических противоречий и проблем, решение которых невозможно в рамках существующего консервативного направления модернизации горнопроходческого оборудования [1]. При неминуемом росте в стране объемов городского тоннельного строительства актуальность решения задач повышения скорости проходческих работ, производительности и безопасности труда, снижения себестоимости работ приобретает первостепенное значение. Интенсификация освоения подземного пространства требует совершено новых проходческих машин и технологий [2].

Коллективом авторов предложен отличный от традиционного подход к процессу проведения горных выработок. Проходка выработок изначально ими рассматривается как процесс движения твердого тела (проходческого оборудования) в твердой среде (геосреде) [3].

При этом подходе приkontурный массив пород используется как опорный элемент, воспринимающий реактивные усилия от горнопроходческого оборудования при выполнении им основных технологических операций. Принцип функционального совмещения основного движения (подачи на забой) и процесса разрушения горных пород получил название геовинчестерной технологии (ГВТ) проведения горных выработок, а агрегат, реализующий данную технологию – геоход [3].

В рамках реализации геовинчестерной технологии ведется разработка нового поколения геоходов и его систем. Одним из основных элементов геохода является его привод и трансмиссия, т.к. именно они определяют базовые силовые параметры геохода, а также скорость его продвижения в геосреде. Исходя из особенности работы геохода, были выработаны основные требования к трансмиссии геохода [4]. Трансмиссия должна:

- обеспечивать достаточный крутящий момент на внешнем движителе геохода для продвижения головной и стабилизирующей секций;

- передавать от привода крутящий момент достаточный для отделения горной породы исполнительным органом (создание напорного усилия);

- обеспечивать достаточную производительность геохода при любом его пространственном расположении;

- расположение и габаритные размеры трансмиссии и привода должны оставлять свободное пространство внутри агрегата для прохода людей и удаления породы из призабойной зоны;

- обеспечивать непрерывное перемещение агрегата на забой;

- трансмиссия и привод должны обеспечивать маневренность геохода по трассе проводимой выработки и реверс его движения;

- трансмиссия и привод должны быть смонтированы на единой конструктивной базе геохода;

- массогабаритные показатели трансмиссии должны обеспечить снижение металлоемкости оборудования по сравнению с традиционными проходческими щитами и проходческими комбайнами.

На первых экспериментальных образцах геоходов ЭЛАНГ-3 и ЭЛАНГ-4 для их перемещения и подачи на забой были применены гидроцилиндры, расположенные по хордам окружности [5]. Конструктивно и функционально в трансмиссии геохода возможны следующие варианты применения гидропривода:

- гидропривод с гидроцилиндрами;

- гидропривод с плунжерными гидроцилиндрами;

- гидропривод с гидромоторами.

Ранее, в геоходе ЭЛАНГ-4, подтвердил свою работоспособность вариант трансмиссии геохода с гидроприводом, представляющим собой ряд гидроцилиндров, расположенных по хордам к окружности оболочки взаимосопрягаемых секций [5]. При диаметре геохода 3,7 м и шаге однозаходной винтовой лопасти равном 0,615 м такая конструкция трансмиссии обеспечила осевую скорость перемещения экспериментального образца геохода в штатном режиме 1,5 м/ч., а максимальную – 2,4 м/ч. Здесь речь идет о коротких промежутках времени. Крутящий момент составлял 3500 кН·м при энергоемкости разрушения 0,2 кВт/т.

При осевой скорости перемещения 2,4 м/ч и применении в качестве внешнего движителя однозаходной винтовой лопасти, частота вращения составляет 4 об/ч. При рациональном использовании

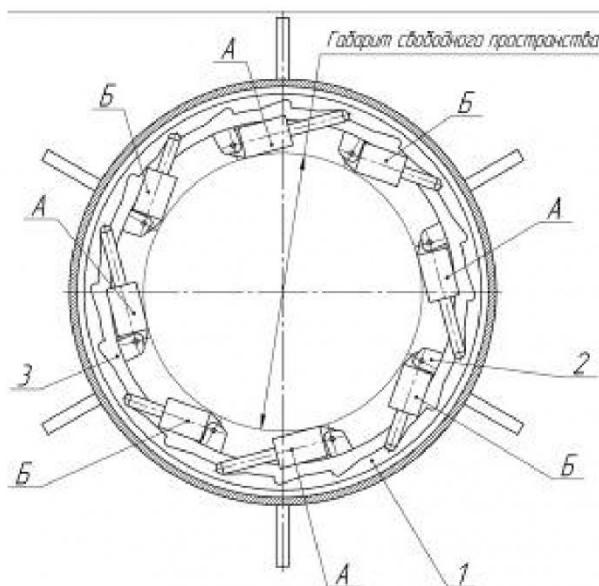


Рис. 1. Схема гидропривода геохода с гидроцилиндрами с непрерывным вращением

машинного времени частота вращения головной секции геохода может достигать 8 об/ч.

Приведенные параметры движения геохода в первом приближении отображают требуемые для работы силовые и скоростные характеристики трансмиссии и привода геохода. Поэтому они были приняты в качестве исходных данных для рассмотрения других вариантов трансмиссии геохода с гидроприводом.

Первые варианты трансмиссии геохода не соответствуют предъявляемым требованиям в части обеспечения непрерывности перемещения агрега-

та на забой [4].

Рассмотрим вариант применения гидроцилиндров в трансмиссии с попыткой обеспечения непрерывности перемещения. Схема данной трансмиссии представлена на рис. 1.

Привод состоит из 8 приводных гидроцилиндров, разделенных на две группы А и Б по 4 гидроцилиндра в каждой и храпового механизма 1. Первая группа гидроцилиндров подключена к одной ветке гидросхемы, вторая к другой. Гидроцилиндры соединены одной проушиной 2 к неподвижной хвостовой секции 3, а второй – к вра-

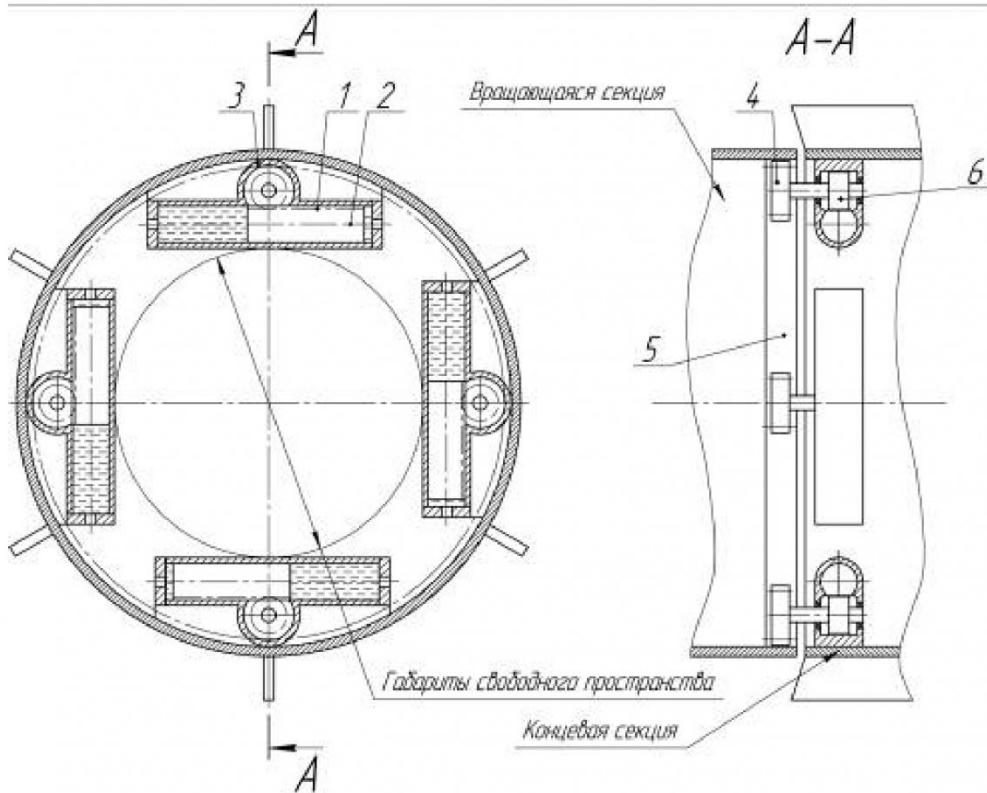


Рис.2. . Схема гидропривода геохода с плунжерными гидроцилиндрами

щающейся секции. Секции соединены между собой с возможностью их взаимного проворота.

Принцип работы состоит в следующем: при работе первая группа гидроцилиндров А выдвигается и отталкивается от неподвижной секции и вращают подвижную, при этом вторая группа Б гидроцилиндров задвигается. Скорость задвига гидроцилиндров в этом случае должна быть гораздо большей, чем скорость выдвижения. Затем вторая группа гидроцилиндров Б начинает выдвигаться и «вступает» в работу до остановки первой группы А, при этом первая группа гидроцилиндров задвигается в исходное положение. Далее цикл повторяется.

Преимущества: отсутствие прерывистого движения, сравнительно малый вес и небольшие габариты привода; возможность регулирования скорости вращения подвижной секции за счет увеличения подачи.

К недостаткам можно отнести:

- сложность синхронизации действия всех гидроцилиндров;
- необходимость введения храпового механизма;
- колебания скорости вращения и крутящего момента;
- перекручивание рукавов высокого давления в процессе вращения головной секции;
- наличие изгибающих нагрузок на штоках гидроцилиндров.

Рассмотрим второй вариант применения гидропривода с плунжерными гидроцилиндрами.

Схема гидропривода с применением плунжерных гидроцилиндров предусматривает передачу крутящего момента шестеренно-реечной трансмиссией, которая совершают возвратно-поступательное и вращательное движения (рис. 2).

Трансмиссия состоит из зубчатой рейки 1, расположенного на поршне плунжерного гидроцилиндра 2. В зацеплении с рейкой находится зубчатые шестерни 3 и 4, которые закреплены на валу привода 5. Шестерня 4 находится в зацеплении с колесом внутреннего зацепления 6, расположенным на внутреннем диаметре вращающейся секции. В зависимости от габаритов угол поворота выходного вала будет составлять от 90° до 360°.

Принцип действия следующий: зубчатая рейка 1 и шестерня 3 имеют некоторое передаточное число. Перемещающийся в цилиндре поршень плунжерного гидроцилиндра 2 с зубчатой рейкой 1 меняет свое положение под действием давления рабочей жидкости. Шестерни 3 и 4 врачаются. Шестерня 4 в свою очередь вращает зубчатое колесо внутреннего зацепления 6, расположенного на вращающейся секции. Дойдя до упора поршень, останавливается, а шестерня 4 и зубчатое колесо 6 выходят из зацепления. Поршень 2 возвращается в исходное положение и цикл повторяется.

Достоинства данной схемы:

- простая конструкция гидросхемы и кинематики по сравнению с трансмиссией с гидроцилиндрами;
- отсутствует необходимость в преобразова-

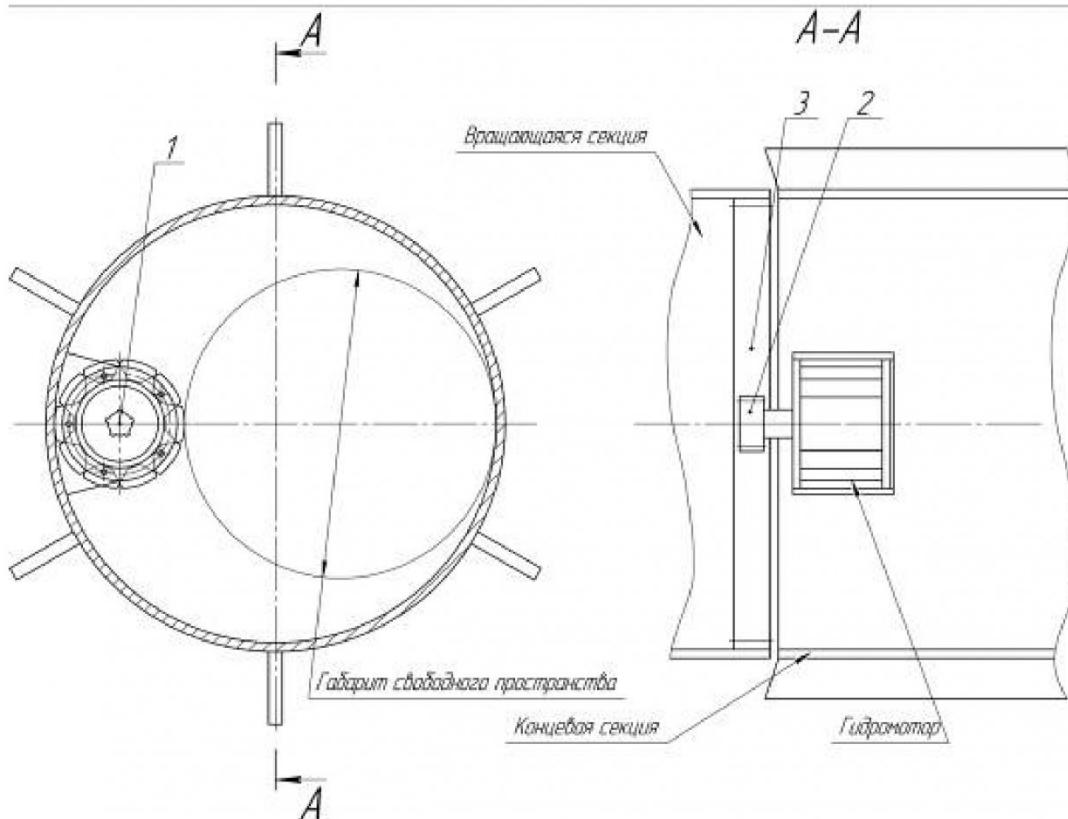


Рис.3. Схема гидропривода геохода с гидромотором

ния поступательного движения;

- сравнительно небольшая масса.

Недостатки:

- наличие прерывистого вращения секции;
- большие нагрузки на зубчатую передачу;
- наличие холостого хода гидроцилиндров;
- сложность изготовления и монтажа системы обратного хода.

Данная схема также не удовлетворяет требованиям к трансмиссии в части обеспечения непрерывности вращения секции геохода.

Третий вариант применения гидропривода – привод от нерегулируемого гидромотора. Для создания большого крутящего момента возможно применить LSHT – гидромоторы (Low Speed High Torque Motors), низкооборотные высокомоментные моторы, например, фирмы Denison Hydraulic, США). Величина крутящего момента в них достигает 45000 Н·м, при давлении рабочей жидкости до 45 МПа.

В данном случае (рис. 3) потребуется регулирование скорости вращения выходного звена гидромотора (регулируемый насос на рис. 3 не показан). Выходной вал гидромотора 1 передает вращение на зубчатое колесо 2. Зубчатое колесо 2 находится в зацеплении с зубчатым колесом внутреннего зацепления 3, расположенного на внутренней поверхности вращающейся секции. Вращательный момент от гидромотора, расположенного на неподвижной секции, передается через зубчатое колесо 2 на вращающуюся секцию геохода.

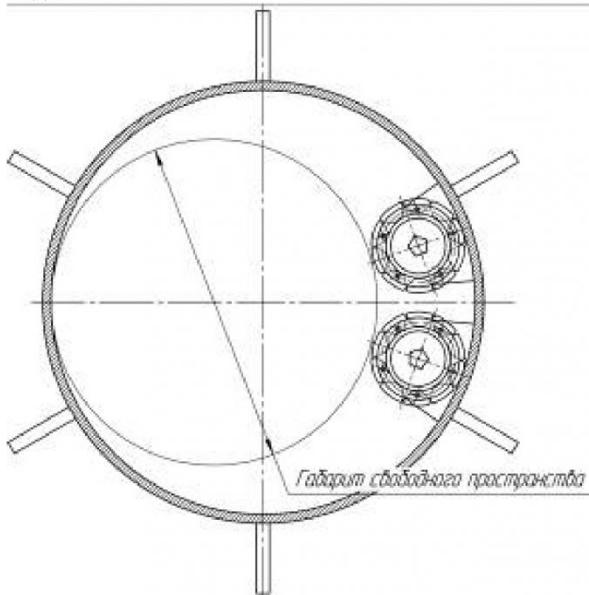


Рис.4. Схема гидропривода геохода с двумя гидромоторами

При увеличении общего числа гидромоторов до двух или трех, но меньшего типоразмера (рис. 4), распределение нагрузки по диаметру секции будет более равномерным, уменьшится передаточное число редуктора и его габариты.

Достоинства данной схемы:

- отсутствуют звено преобразования вращательного движения;

- непрерывность в работе;
- отсутствует необходимость возврата системы в исходное положение;

- возможность регулирования скорости вращения подвижной секции;

- простота гидросхемы и кинематической цепочки электродвигатель–насос–гидромотор–зубчатая передача.

К недостаткам можно отнести:

- большие нагрузки на зубчатую передачу;
- большой вес и габариты;
- нагрузка на корпус секций геохода приходится со стороны расположения гидроприводов;
- несимметричность расположения привода и соответственно нет возможности рационального использования свободного пространства внутри геохода.

Рассматривая достоинства и недостатки данного типа привода можно сделать вывод о том, что данный типа трансмиссии не соответствует требованиям, предъявляемым к трансмиссии геохода в части требований к наличию свободного пространства в районе оси вращения вращающейся секции.

На основании анализа (таблица 1) применимости различного гидропривода в трансмиссии геохода можно сделать вывод о том, что гидропривод не соответствует новым требованиям, предъявляемым к трансмиссии и приводу.

Рассмотрим применение в трансмиссии геохода электропривод с механической передачей.

Электропривод широко распространен в приводах горношахтного оборудования, но его применение в трансмиссии сопряжено с необходимостью использования различного рода механических зубчатых передач [6].

Трансмиссия геохода должна строиться на передачах, реализующих высокие передаточные числа, обладающих высокой нагрузочной способностью и высокой надежностью.

Рассмотрим известные конструктивные решения применения электропривода с механическими передачами:

- электропривод с зубчатыми цилиндрическими передачами;
- электропривод с зубчатыми коническими передачами;
- электропривод с червячной передачей;
- электропривод с планетарной передачей;
- электропривод с волновой передачей.

Цилиндрические зубчатые передачи наружного и внутреннего зацепления являются простыми в изготовлении и наиболее распространенными в машиностроении. Они служат для передачи вращения между параллельными и соосными валами и в основном применяются прямозубые, косозубые и шевронные передачи с эвольвентным профилем зуба.

Данные передачи при одноступенчатой схеме могут обеспечивать значение передаточного отношения до 8, при двухступенчатой схеме значение передаточного отношения колеблется в пределах от 8 до 60, а при трехступенчатой схеме – от 60 до 300. В редких случаях значение передаточного отношения может достигать нескольких сотен и даже тысяч. КПД данных передач (одной ступени, закрытого исполнения) находится в пределах от 0,96 до 0,98. Такие передачи возможно применять при больших скоростях (до 150 м/с). Передаваемая мощность может достигать сотен и даже тысяч киловатт [7]. Косозубые и шевронные передачи, по сравнению с прямозубой, обеспечивают более высокую плавность работы и в ряде случаев имеют меньший весовой показатель (отношение массы зубчатых колес к врачающему моменту на тихоходной ступени).

Основные достоинства данных передач: большая надежность и долговечность, высокий КПД, постоянство передаточного отношения, достаточно высокая нагрузочная способность.

Основные недостатки:

- с повышением нагрузочной способности и значений передаточного отношения существенно увеличиваются масса и габариты передачи;
- необходимость высокой точности изготовления зубчатых колес;
- шум при работе;
- высокая жесткость не позволяющая компенсировать динамические перегрузки.

Зубчатая передача эвольвентного зацепления не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к передачам, используемым в трансмиссии геохода, т.к. для обеспечения необходимого крутящего момента и необходимой частоты вращения головной секции габариты передачи выйдут за рамки допустимых значений.

Коническая зубчатая передача применяется для передачи движения и крутящего момента в случаях, когда пересекаются оси ведущего и ведомого валов и только в тех случаях, когда это необходимо по условиям компоновки машины. Данные передачи при одноступенчатой схеме могут обеспечивать значение передаточного отношения до 4. Двухступенчатые и трехступенчатые схемы использования конической передачи не применяются, а в качестве второй и третьей ступени используются цилиндрические передачи. Поэтому предельные числа передаточных отношений составляют: для двухступенчатой схемы значение передаточного отношения колеблется в пределах от 4 до 50; при трехступенчатой схеме - от 50 до 200. КПД данных передач (одной ступени, закрытого исполнения) находится в пределах от 0,95 до 0,97. Также известно, что нагрузочная способность данных передач меньше, чем цилиндрических и составляет порядка 0,8...0,85 от их нагрузочной способности [7].

Достоинство данной передачи - это использование при необходимости компоновки передач, оси которых пересекаются под некоторым углом.

Таблица 1. Анализ применимости гидроприводов в трансмиссии геохода

Название	Гидропривод с гидроцилиндрами (ЭЛАНГ-4)	Гидропривод с гидроцилиндрами (с непрерывным вращением)	Гидропривод с плунжером и шестеренно-реечным приводом	Гидропривод с нерегулируемым гидромотором
К.П.Д.	0,85...0,95	0,85...0,95	0,9...0,95	0,7...0,8
Передаваемая мощность	Сотни тысяч киловатт			
Крутящий момент на внешнем двигателе	++	++	++	++
Напорное усилие	++	++	++	++
Достаточная производительность	-	++	-	++
Обеспечение свободного пространства	++	++	+	-
Непрерывность вращения	--	++	--	++
Маневренность и реверс	+	+	+	+
Единая конструктивная база	++	++	++	++
Снижение массогабаритных показателей	++	++	+	++
Снижение энергопотребления	-	-	-	-
++ - целесообразность применения данного привода; + - возможность применения данного привода; -- затруднительность применения данного привода; --- невозможность применения данного привода				

Недостатки: необходима высокая точность изготовления и монтажа зубчатых передач данного типа. Одно из колес расположено консольно, что существенно снижает нагружочную способность по сравнению с цилиндрическими передачами.

Учитывая конструктивные особенности передачи, нерационально использовать коническую зубчатую передачу в трансмиссии геохода, к этому нет ни конструктивных, ни функциональных предпосылок, т.к. по условию компоновки трансмиссии необходимо, чтобы ось вращения геохода совпадала с осью вращения передачи. В противном случае, требование по наличию свободного пространства для удаления горной массы не будет выполняться. Поэтому, данная передача также не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к передачам, используемым в трансмиссии геохода.

Червячная передача применяется в случаях, когда оси ведущего и ведомого валов перекрещиваются (обычно под прямым углом). Данные передачи при одноступенчатой схеме могут обеспечивать передаточное отношение до 70, при двухступенчатой схеме передаточное отношение колеблется в пределах от 70 до 500. КПД данных передач (одной ступени, закрытого исполнения) находится в пределах от 0,7 до 0,92. Данные передачи не применяются при больших скоростях ввиду чрезмерного тепловыделения. Передаваемая мощность передачи может достигать сотен киловатт [7].

Основное достоинство данной передачи – обеспечение больших передаточных отношений на одной ступени передачи.

Основные недостатки: большое скольжение в зацеплении служит причиной пониженного КПД, повышенного тепловыделения и износа, склонности к заеданию, необходимости постоянной смазки и охлаждения.

Для обеспечения конструктивной возможности размещения червячной передачи внутри корпуса геохода и обеспечения большого крутящего момента необходимо расположить несколько передач по внутреннему периметру корпуса геохода (как показано на рисунке 1).

При данной, периферийной, схеме расположения у нижних редукторов будет затруднено смазывание передачи, т.к. червячная передача не будет погружена в смазку, что существенно повлияет на работоспособность, износстойкость и надежность данной передачи. Также недостатком будет являться габариты передачи, которые будут существенными, т.к. требуется обеспечить большой крутящий момент и большое передаточное отношение.

Планетарные передачи содержат зубчатые колеса с перемещающимися осями и состоят, обычно, из центрального колеса с наружными зубьями,

сателлитов, водила и центрального колеса с внутренними зубьями. Данная передача получила широкое распространение благодаря широким кинематическим возможностям, которые позволяют ее использовать как редуктор с постоянным передаточным отношением, так и как коробку скоростей и как дифференциальный механизм. Планетарный принцип позволяет получить передаточные отношения порядка 1700. Поэтому при больших числах и планетарную передачу рекомендуют для кратковременно работающих приборов и мало мощных приводов, в которых КПД не имеет решающего значения, случаях небольшого и передача используется в нагруженных приводах. Передаваемая мощность передачи может достигать сотен киловатт [7].

Основные преимущества:

- возможность использования одной и той же передачи, как в виде редуктора с постоянным передаточным отношением, так и в виде коробки скоростей, передаточное отношение в которой меняют путем поочередного торможения различных звеньев;

- компактность и малая масса при одинаковых силовых параметрах по сравнению с редукторами с цилиндрическими колесами (масса ниже в 2...4 раза);

- долговечность службы.

Основные недостатки: повышенные требования к точности изготовления и монтажа, низкий КПД в некоторых схемах при требуемых для геохода больших значениях передаточных отношений.

Оценивая возможность применения планетарной передачи в трансмиссии геохода, рассмотрим два варианта ее размещения. Первый – периферийной компоновки, при котором по периметру внутренней поверхности секции расположены редукторы планетарных передач. Второй – осевая компоновка, при которой используется колесо внутреннего зацепления, расположенное на внутреннем периметре вращающейся секции геохода. При этом, как в первом, так и во втором случаях, не будет выполняться условие по обеспечению свободного пространства для удаления горной массы, т.к., в первом случае, помешают габаритные редукторы, а во втором – наличие в районе оси секции водила и зубчатых колес-сателлитов.

Передача Новикова считается альтернативой эвольвентному зацеплению, при этом считается, что оно имеет более высокую нагружочную способность (порядка 1,5...1,7 раза больше чем у аналогичной по размеру и материалу эвольвентной косозубой передачи). Однако, в последнее время, преимущества данной передачи ставятся под сомнение [8] в виду наличия ряда недостатков в теории зацепления передач Новикова.

Существенным недостатком также является нетехнологичность ее изготовления, данные передачи не подвергаются термообработке и не шлифуются из-за отсутствия соответствующих технологий, и подвержена быстрому износу. Поэтому данная передача в настоящее время менее конкурентоспособна, чем эвольвентная. Применение данной передачи в трансмиссии геохода не представляется возможным, т.к. не будет выполняться требование к трансмиссии по обеспечению крутящего момента достаточного для вращения секции и отделения горной массы.

Волновая передача с промежуточными телами качения (ВППТК) является одной из перспективных передач. Силовая передача крутящего момента осуществляется практически только обкатным

движением, почти без сопротивления трения. Поэтому такие передачи работают с высоким КПД [9].

Данные передачи обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными зубчатыми передачами:

- большие передаточные числа (свыше 10000);
- большие крутящие моменты на выходном звене.

В конструкции ВППТК нагрузка передается с помощью шариков или роликов с углом зацепления от 90 до 180 градусов. То есть, при значении передаточного отношения одной ступени равному 50, в зацеплении одновременно находится до 25 тел качения, что позволяет передавать крутящие моменты в 5...10 раз больше, если сравнивать с

Таблица 2. Анализ механических передач возможных к применению в трансмиссии геохода

Вид передачи	Передаточное отношение	КПД	Передаваемая мощность, кВт	Крутящий момент	Напорное усилие	Достаточная производительность	Обеспечение свободного пространства	Непрерывность вращения	Маневренность и реверс	Единая конструктивная база	Снижение массогабаритных показателей	Снижение энергопотребления
Зубчатая цилиндрическая прямозубая	8...300, максимальное – до сотен тысяч	0,96 ...0,98	десятки тысяч	+	+	+	–	+	+	+	–	+
Зубчатая цилиндрическая косозубая	8...300, максимальное – до сотен тысяч	0,96 ...0,98	десятки тысяч	+	+	+	–	+	+	+	–	+
Зубчатая цилиндрическая шевронная	8...300, максимальное – до сотен тысяч	0,96 ...0,98	десятки тысяч	+	+	+	–	+	+	+	–	+
Зубчатая коническая	4...200, максимальное – до тысячи	0,95 ...0,97	до 20	–	–	+	–	+	+	+	–	+
Червячная	70...500	0,7 ...0,92	до 50	+	+	+	–	+	+	+	–	+
Планетарные	до 1700 и более	0,7 ...0,98	десятки тысяч	+	+	+	–	+	–	+	–	+
Передача Новикова	До 8, при одно-ступенчатой хеме	0,96 ...0,98	до 1500	–	–	+	–	+	+	+	–	–
Волновые	6...100000	0,8 ...0,9	десятки тысячи	+	+	+	+	+	+	+	++	++

++ - целесообразность применения данной передачи; + - возможность применения данной передачи; – - затруднительность применения данной передачи; – – - невозможность применения данной передачи

зубчатой передачей, с многократной кратковременной перегрузкой и, практически, без упругих деформаций;

- большие перегрузочные резервы и высокая жесткость кинематических звеньев;

- компактность, по сравнению с зубчатой эвольвентной передачей, при равных передаточных числах и крутящих моментах ВППТК меньше по габаритам в 2...6 раз;

- высокий КПД (составляет 0,8...0,9);

- малый момент инерции, высокий уровень динамичности (в ВППТК с высокой скоростью вращается только вал с эксцентриковым генератором).

Особое достоинство – это высокая износостойкость передачи из-за отсутствия в ней трения скольжения, поскольку, фактически, передача представляет собой подшипник с волнообразной беговой дорожкой. В отличие от традиционной

волновой передачи с гибким звеном, эта передача не имеет гибких деформирующих звеньев и, практически, не имеет упругого закручивания входного вала, относительно выходного, даже при максимальных нагрузках.

В табл. 2 приведен анализ применимости различных механических передач в трансмиссии геохода.

Волновые передачи с промежуточными телами качения в совокупности с электроприводом, соответствуют требованиям по силовым показателям, возможности размещения в геоходе, обеспечит непрерывность, реверсивность и плавность движения, а также возможность ее монтажа на единой конструктивной базе геохода, т.е. удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к трансмиссиям геохода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перспективные научные направления развития горной техники и технологии // Г.Г. Литвинский. – Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Гірнико-геологічна» / Ред-кол.: Башков Э.О. (голова) та інші. – Донецьк, ДВНЗ «ДонНТУ», 2009. – 192 с. – Випуск 10 (151).
2. Бреннер В.А. Щитовые проходческие комплексы: Учебное пособие / Бреннер В.А., Жабин А.Б., Щеголевский М.М., Поляков Ал. В., Поляков Ан. В. – М.: Издательство «Горная книга», Издательство Московского государственного горного университета, 2009. – 447 с.: ил.
3. Аксенов В.В. Геовинчестерная технология и геоходы – инновационный подход к освоению подземного пространства // В.В. Аксенов, А.Б. Ефременков. «Эксперт-Техника». – 2008. – №1. С. 18-22.
4. Аксенов В.В. Разработка требований к трансмиссии геоходов // В.В. Аксенов, А.Б. Ефременков, М.Ю. Блащук, В.Ю. Тимофеев. «Известия ВУЗов. Горный журнал». – 2009. – №8. С. 101-103.
5. Аксенов, В.В. Геовинчестерная технология проведения горных выработок. – Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, 2004, 264 с., ил.
6. Солод В.И. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов. Учебник для вузов / Солод В.И., Гетопанов В.Н., Рачек В.М. – М. Недра, 1982, 350 с.
7. Иванов В.Н. Детали машин: Учеб. Для студентов втузов /Под ред. Финогенова В.А. – М.: Высш. шк. 2000. – 383 с.
8. Журавлев Г.А. Ошибочность физических основ зацепления Новикова как причина ограниченности его применения // «Редукторы и приводы», информационно-аналитический журнал, №, с. 38–44, 2007 г.
9. Панкратов Э.Н. Проектирование механических систем автоматизированных комплексов для машинообрабатывающего производства: Практикум лидера-проектировщика. – Томск: изд-во Том. Ун-та, 1998. – 295 с.

□ Авторы статьи:

Аксенов
Владимир Валерьевич
- докт. техн. наук,
ведущий научный со-
трудник ИУУ СО РАН,
профессор ЮТИ ТПУ.
Тел. 8-908-953-55-22
v.aksenov@icc.kemsc.ru

Ефременков
Андрей Борисович
- канд.техн.наук, доцент,
директор Юргинского
технологического инсти-
тута филиала ТПУ.
Тел. 8-(384-51)-6-26-83

Тимофеев
Вадим Юрьевич
- механик каф. горно-
шахтного оборудования
Юргинского технологич-
еского института (филиала) Том-
ского политехн.ун-та,
тел. (384-51) 6-05-37,
tv-yti@rambler.ru

Блащук
Михаил Юрьевич
- старший преп. каф. гор-
но-шахтного оборудования
Юргинского технологиче-
ского института (филиала)
Томского политехническо-
го ун-та,
тел. (384-51) 6-05-37