

**ОБЗОР И АНАЛИЗ ПЕРЕДАЧ С ЗАЦЕПЛЕНИЕМ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ТЕЛ,  
ИСПОЛЬЗУЕМЫХ  
В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ**

**М.А. Васильев, Т.А. Михеев, Д.В. Беляев, И.Н. Нефедова, Ф.Р. Алиев**  
*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Иногда необходимо создавать редукторы, которым нестрашны кратковременные большие перегрузки, когда пиковые значения превышают номинальные на порядок и выше [1]. Такие устройства нашли применение в буровом деле при встрече режущих органов с твердыми телами, в штрековых лебедках угольных шахт при сходе вагонетки с рельсов и т.п. Передача с зацеплением промежуточных тел таких перегрузок не боится, т.е. она, не теряя работоспособности, кратковременно может нагружаться моментом, сильно превышающем его номинальное значение [2].

Согласно [7], передачи с зацеплением промежуточных тел потеснили зубчатые передачи и получили промышленное внедрение в электробурении нефтяных и газовых скважин.

При бурении скважин на больших глубинах привод необходимо располагать у забоя скважины. Изнашивание долота приводит к трудоемким и продолжительным подъемно-спускным операциям бурильной колонны. Наименьшее число подъемно-спускных операций осуществляется при частоте вращения долота в несколько раз меньше той, которую обеспечивают безредукторные электро- и турбобуры. Еще один пример, в зубчатых редукторах оборудования в забое возникают повышенные контактные напряжения на рабочей поверхности зубьев и в подшипниках. Снижение контактных напряжений в зубчатых передачах и подшипниках можно добиться путем разделения энергетических потоков, но в таком случае устройства для деления суммарного крутящего момента оказываются сложными и практически не применяются [7].

Передачи с зацеплением промежуточных тел, применяемые в забойных двигателях в качестве редуктор-вставок в мотор редукторах, по сравнению с зубчатыми редуктор-вставками имеют ряд преимуществ. В силу принципа работы – мощность передается сразу несколькими промежуточными телами, теоретически, примерно половиной из всех промежуточных тел передачи. Передачам с зацеплением промежуточных тел свойственно перераспределение нагрузки между отдельными промежуточными телами [4]. На пример, у синусошариковых передач с помощью продольных прорезей в наружных втулках достигается деление суммарного момента между отдельными секциями передачи [7]. Это позволяет проектировать передачи с зацеплением промежуточных тел с достаточным запасом прочности практически по любым заданным параметрам. Проверки опытных образцов на стендах показали, что срок службы передач с зацеплением промежуточных тел на порядок выше по сравнению с зубчатыми передачами.

Эксплуатационникам требуются редуктор-вставки с диапазоном передаточных отношений 1,5–10,0. Практически передаточное отношение одной ступени зубчатых редуктор-вставок не более трех; для получения передаточного отношения 4,0–10,0 нужны двухступенчатые зубчатые редуктор-вставки. Одноступенчатые передачи с зацеплением промежуточных тел имеют диапазон передаточных чисел 1,5–10,0.

При эксплуатации забойных машин буровая жидкость с большим количеством абразива иногда попадает в масляную ванну редуктора. Зубчатая редуктор-вставка в этом случае выходит из строя через несколько часов, а передачи с зацеплением промежуточных тел работают на порядок-два продолжительнее. Такое достоинство передач с зацеплением промежуточных тел обусловлено тем, что в редуктор-вставках диаметром 190 мм максимально возможный модуль зацепления зубчатых передач 1,5–2,0 мм, а у передач с зацеплением промежуточных тел шарики диаметром 30 мм могут изнашиваться по диаметру на 4–5 мм до потери работоспособности редуктором.

У зубчатых редуктор-вставок электробуров коронное зубчатое колесо приварено к корпусу редуктора, поэтому поломка его зубцов выводит из строя весь корпус, что приводит к замене редуктор-вставки. Передачи с зацеплением промежуточных тел теряют работоспособность из-за изнашивания шариков, сепараторов и втулок с беговыми дорожками, но это не снижает срок службы корпуса и других узлов. Причем у передач с зацеплением промежуточных тел изношенные сепараторы и втулки с беговыми дорожками могут использоваться повторно; достаточно их повернуть на 180°, изношенные участки окажутся не рабочими, а в зацепление войдут противоположные профили.

Малая материалоемкость изнашивающихся деталей в сочетании с простотой сборки и разборки обеспечивает передачам с зацеплением промежуточных тел преимущества в важном эксплуатационном показателе – ремонтпригодность. Стоимость передачи с зацеплением промежуточных тел на 25% ниже стоимости ее зубчатого аналога за счет меньшей трудоемкости изготовления изделий [7].

При проходке скважины пород с различной твердостью нужны рациональные частоты вращения долота. Применение в таких условиях односкоростных редуктор вставок приводит к потерям рабочего времени и дополнительным расходам на транспортировку забойного привода между буровой и базой бурения. Это приводит к целесообразности использования двух- и трехскоростных редуктор-вставок, которые позволяют простыми операциями переключать передачи непосредственно на буровой, перестановкой местами на корпусе редуктора двух винтов различной длины. Преимущество применения двух- и трехскоростных передач с зацеплением промежуточных тел в том, что вместо трех односкоростных может поставиться одна трехскоростная редуктор-вставка, то есть получаем меньше расход материалов и затраты труда на изготовление.

В общем, приводы на основе передач с зацеплением промежуточных тел находят свое применение, но имеется несколько объективных причин, которые удерживают их более широкое распространение, среди таких

причин следует отметить все-таки малую изученность. Иногда достоинства обращаются недостатком, на пример, одно из достоинств передач с зацеплением промежуточных тел - многопарность зацепления приводит к сложности определения силы, действующей на одно конкретное промежуточное тело. Также к недостаткам можно отнести такой фактор как, повышенный нагрев при постоянной работе. Последнее обусловлено небольшой рабочей зоной и тем, что для передач с зацеплением промежуточных тел выбирается пластичная смазка, которая плохо отводит тепло от рабочих поверхностей.

По имеющейся небольшой информации [6], за рубежом также был освоен выпуск приводов на базе передач с зацеплением промежуточных тел.

В Бельгии Патрик Г. Лисон в 1975 году разработал редуктор кулачкового типа, представляющий собой кулачок, закрепленный на входном валу, который контактирует с роликами, помещенными в корончатом сепараторе, выполненном за единое целое с выходным валом.

Фирма Toyo Glass Machinery Co. Ltd в 1976 году, предложила конструкцию цевочного редуктора, встроеного в шкив клиноременной передачи. Снабженный 14 роликами-цевками, эксцентрично установленный на ведущем валу промежуточный элемент совершает круговое поступательное движение относительно неподвижных пальцев и сообщает ведомому шкиву, имеющему 15 аналогичных роликов цевок, вращение с меньшей скоростью. Такой цевочный редуктор имеет передаточное отношение, равное 15.

Фирма Cyclo Drive (Канада) в 1982 году стала выпускать планетарные цевочные редукторы эксцентрикового типа.

Фирма Emerson Electric Co. (США) в 1984 году запатентовала конструкцию планетарного цевочного редуктора, у которого на эксцентриковой шейке входного вала был установлен на подшипнике диск с цевками или пальцами, оснащенными роликами.

Фирма Advanced Energy Concepts 81 Ltd. в 1987 году разработала планетарный роликовый редуктор, рассчитанный на передачу значительных вращающих моментов.

Фирма Sumitomo Heavy Ind. Ltd. в 1988-94 годах выпускает редукторы на основе цевочной передачи, отличающиеся от известных редукторов этого типа тем, что эксцентричное колесо связано с выходным валом посредством зубчатой муфты.

Американская фирма Synkinetics, Inc. (SYNXdrive) в 1992 году начала выпуск гаммы механизмов кулачкового типа, сходных по конструкции с редуктором, который разработал в Бельгии Патрик Г. Лисон.

В России завод Уралтяжмаш в 1951 году изготовил ряд опытных образцов передач К-Н-V. Из-за отсутствия специального оборудования для нарезания зубьев сателлитов методом обкатки пришлось отказаться от дальнейшего производства этих передач.

УКРНИИХиммаш в содружестве с заводами «Гамбовполимермаш» и Киевским опытно-показательным редукторным заводом в 1969 году разработал и выпускает два типа планетарно-цевочных мотор-редукторов: одноступенчатые и двухступенчатые.

В Красноярске Нечаев Л.И. в 1975 г. разработал планетарную передачу для соосных валов с промежуточными шариковыми телами.

Новокраматорский машиностроительный завод и Славянский Филиал Всесоюзного научно-исследовательского и научно-конструкторского Института металлургического машиностроения в 1989 году выпускают планетарные цевочные редукторы, разработанные Стрельниковым В.Н., состоящие из корпуса, двух соосно расположенных колес и водила, жестко связанного с входным валом.

С 1999 года компания SIMACO производит волновые редукторы с зацеплением промежуточных тел, которые аналогичны редукторам, выпускаемым американской фирмой Synkinetics, которые используются, на пример в приводах перемешивателя бурового раствора и другом оборудовании нефтегазовой отрасли. Также они выпускают двухступенчатые редукторы на базе передачи с зацеплением промежуточных тел.

#### Литература

1. An I-Kan, Ilin A. S., Lazurkevich A. V. Aspects of geometric calculation of the planetary gear train with intermediate rollers. Part 1 [Electronic resource] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2016. — Vol. 124 : Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS2015). — [012003, 5 p.]. — Title screen. — Свободный доступ из сети Интернет.
2. Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/124/1/012003>
3. An I-Kan, Ilin A. S., Lazurkevich A. V. Load analysis of the planetary gear train with intermediate rollers. Part 2 [Electronic resource] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2016. — Vol. 124 : Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS2015). — [012004, 6 p.]. — Title screen. — Свободный доступ из сети Интернет.
4. Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/124/1/012004>
5. An I-Kan. Force Distribution within a KHV Planetary Mechanism // Russian Engineering Research, 2016, Vol. 36, No. 8, pp. 640–642. © Allerton Press, Inc., 2016.
6. An I-Kan, Belyaev, D.V., Stuzhuk, V.V. Determination of basic parameters of the wave gearings with intermediate rolling bodies. [Electronic resource] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2017. Vol. 87 : Mechanical Engineering. — [082002, 8 p.]. — Title screen. — Свободный доступ из сети Интернет.
7. Режим доступа: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/87/8/082002>
8. Efremkov E.A., An I-Kan. Euler-Savari Determination of Radii of Curvature of Cycloid Profiles // Russian Engineering Research, 2010, Vol. 30, №10, pp. 1001-1004. © Allerton Press, Inc., 2010.
9. Ершов Ю.В.: Анализ и синтез планетарных передач К-Н-V с промежуточными телами качения: Автореферат диссертации кандидата технических наук. —Новочеркасск, 2007.
10. Игнатищев Р.М. Синусошариковые редукторы. — Мн.: Высш. школа, 1983. — 107 с. ил.