

**Анализ конструкций и выбор кинематических схем  
объёмных гидромеханических коробок передач тракторов**

Шарангович А.И.

Республиканское унитарное предприятие

Минский тракторный завод

Производственное объединение «Минский тракторный завод» является одним из крупнейших производителей сельскохозяйственной техники не только в странах СНГ, но и в мире. Помимо обеспечения потребностей внутреннего рынка, предприятие экспортирует значительную часть своей продукции в страны дальнего и ближнего зарубежья. При этом МТЗ приходится выдерживать жёсткую конкуренцию со стороны иностранных производителей, что предъявляет повышенные требования к потребительским свойствам и параметрам производимых предприятием тракторов.

Технология сельскохозяйственного производства предъявляет повышенные требования к точности рабочих скоростей движения. В связи с этим наблюдается увеличение общего числа передач в ступенчатых коробках передач (КП), при этом их число достигает 60 и более. Современные механические трансмиссии имеют сложную конструкцию, большое количество валов, шестерён, подшипников и других деталей, что снижает общий КПД за счёт увеличения потерь. При этом снижается надёжность и усложняется управление трансмиссией. Одним из способов устранения приведенных недостатков при более полном удовлетворении агротехнических требований является использование в трансмиссиях бесступенчатых передач.

Из всех бесступенчатых передач вращательного типа наилучшие массогабаритные параметры и динамические качества имеет гидрообъёмная передача. Использование классической полнопоточной передачи (1 насос + 1 мотор) в качестве трансмиссии тяговой машины даёт ряд преимуществ: плавное преобразование скорости и вращающего момента на выходе; простое управление; возможность получения быстрого реверса; гидростатическое замедление (сниженный износ механического тормоза); возможность обеспечения гиперболической зависимости вращающего момента от скорости при максимальной мощности;

свободное расположение узлов привода (возможности компоновки). Одним из основных недостатков использования полнопоточной передачи является ограничение по установочной мощности, равной произведению максимально возможной скорости движения на максимальную тягу:

$$N_{уст} = P_{\max} \cdot v_{\max}$$

и ограничение по максимальному диапазону регулирования вращающего момента, для данного класса передач не превышающему 10. Кроме того, данная передача имеет меньший, чем у механических передач КПД (максимальный 80-85% на малой области изменения вращающего момента) и более высокие массо-габаритные характеристики. Анализ номенклатуры гидромашин выпускаемых ведущими фирмами показывает, что установочная мощность гидропривода не превышает 600 кВт, что объясняется резким ростом цены и массо-габаритных параметров передачи при использовании машин с большими рабочими объемами. Мировой опыт показывает, что классическая полнопоточная передача может быть установлена на тяговые и транспортные машины с мощностью двигателя не более 60 кВт.

Одним из прогрессивных способов устранения приведенных недостатков полнопоточной трансмиссии является использование в трансмиссии тракторов многопоточных объемных гидромеханических передач, где гидропривод устанавливают в параллельной ветви и передают через него только часть мощности, подводимую к входному валу. При таком подходе гидрообъемная передача позволяет бесступенчато регулировать скорость движения; средний КПД трансмиссии не ниже, чем у механической ступенчатой; для обеспечения требуемого диапазона регулирования требуется гидропривод меньшей установочной мощности. Данные передачи образуют самостоятельный класс передач — объемные гидромеханические передачи (ОГМП). К недостаткам данного класса передач относится сложность проектирования для конструктора и высокая цена механической части при малых объемах производства.

В ноябре 1995 года немецкая фирма Fendt представила трактор с двигателем мощностью 260 л.с. на который была установлена объемно гидромеханическая трансмиссия (ОГМТ) Vario.

Трансмиссия Vario выполнена по схеме с дифференциалом на входе (А1) с двумя реверсивными гидромашинами состоящие

из реверсивного насоса с наклонным блоком и углом наклона от  $-30^\circ$  до  $+45^\circ$  и реверсивного мотора с наклонным блоком и углом наклона от  $0^\circ$  до  $45^\circ$ . Диапазонный редуктор обеспечивает две передачи. Задний ход получен за счёт реверсивности гидрообъёмной передачи. В настоящий момент Fendt имеет наилучшие гидрообъёмные приводы, характеризующиеся высоким КПД. Преимуществом рассматриваемой трансмиссии является простота конструкции, несложное управление. Недостатками — большие установочные мощности гидромашин, циркуляция мощности через гидравлическую ветвь и большие угловые скорости звеньев при движении задним ходом. За период 1996-2001 г. фирмой продано 10000 тракторов, оборудованных ОГМТ [1].

Известны тракторные трансмиссии XM-8 фирмы Claas, S-Matic фирмы Steyr, Eссom фирмы ZF. По сравнению с трансмиссией фирмы Fendt они имеют более сложную механическую часть, более сложную систему управления, но характеризуются меньшей установочной мощностью гидромашин. Данные трансмиссии выполнены по схеме с многократным повторением объёмной гидромеханической передачи с дифференциалом на выходе (A2). При движении трактора в трансмиссиях подобного типа имеются режимы с циркуляцией мощности, загружающие механическую ветвь двухпоточной передачи. При переключении передач не происходит разрыва потока мощности, а угловые скорости переключаемых звеньев равны (синхронизация заложена в структурной схеме), но происходят скачки давления в гидролиниях гидромашин (со сменой знака). Трансмиссии выполненные по подобным структурным схемам применялись и ранее на военных гусеничных машинах США (например, НМРТ-500 БМП-М2, ХНМ-1500-1 М1). В 2001 г. фирма Case выпустили 2400 тракторов с ОГМТ, Deutz Fahr — 500, John Deer — 800 [1].

В Германии были проведены сравнительные испытания тракторов, оборудованных различными типами трансмиссий [2]. Результаты испытаний показали, что по сравнению с тракторами оборудованными ступенчатыми КП с переключением передач под нагрузкой (Power Shift), ОГМКП дают:

- экономию топлива от 3% на пахоте и бороновании;
- экономию топлива до 10% на сеноуборке, транспорте и др.;
- рост производительности от 3% на пахоте;

- рост производительности до 10% на зернокошении, уборке культур на силос;
- разница в КПД трансмиссии составляет 2% – такая же, как трансмиссии с переключением на ходу по сравнению с синхронизированной.

Следует отметить, что при оптимальном построении алгоритмов и системы управления двигатель-трансмиссия экономия топлива на транспортных работах у тракторов оборудованных ОГМТ может достигать 25%. Наибольшая эффективность трактора с ОГМТ имеет место на работах с циклическим изменением нагрузки.

На рис. 1. приведены результаты сравнительных тракторов с ОГМТ и трактора Case 9145 со ступенчатой КП с переключением передач под нагрузкой.

Согласно работе [1] сегодня разница в цене ОГМТ по сравнению с Power Shift трансмиссиями для зарубежных тракторов составляет 5000...17000 DM, при увеличении объёмов производства и снижения эффекта «новизны» на рынке эта разница будет снижаться.

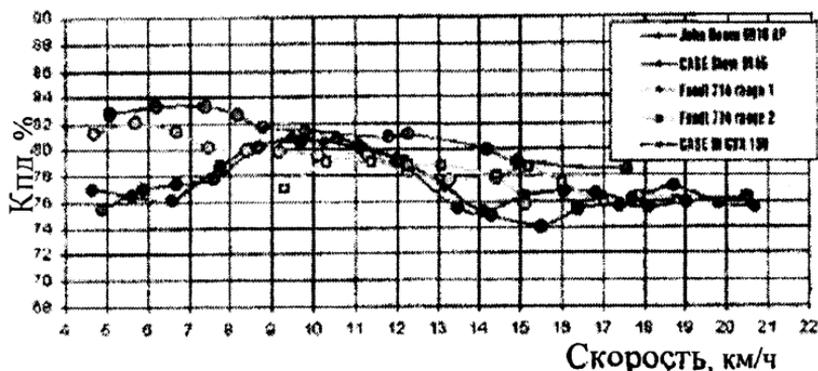


Рис. 1. Результаты сравнительных испытаний трансмиссий

Сегодня созрели предпосылки для внедрения ОГМТ на тракторах отечественного производства.

На Минском тракторном заводе проводится комплекс работ по созданию ОГМКП для трактора класса 1,4.

Высокий КПД на малых скоростях движения обеспечивается ОГМП с дифференциалом на входе, позволяющая осуществить трогание с места и работу на низких скоростях движения без

циркуляции мощности. Однако такая передача требует больших установочных мощностей гидромашин и через гидропередачу проходит до 75 % мощности двигателя (Fendt). Поэтому целесообразно использовать данную передачу в сочетании с другими ОГМП, в этом случае, мощность передаваемая через гидравлическую ветвь можно снизить до 35%. Переключение передач может осуществляться в режиме нулевой гидравлической мощности. При этом в момент переключения угловые скорости соединяемых элементов равны и момент на этих звеньях равен нулю, что повысит надёжность элементов трансмиссии и позволит осуществить переключение простыми элементами. С целью увеличения ресурса гидрообъёмных передач целесообразно выбирать такие структурные схемы, в которых отсутствуют скачки давления в момент переключения. Для обеспечения надёжности работы трансмиссии целесообразно использовать такие ОГМКП в которых отсутствует циркуляция мощности во всём диапазоне работы трансмиссии. Таким критериям удовлетворяют объёмные гидромеханические передачи переменной структуры с переключением передач в режиме нулевой гидравлической мощности. На МТЗ разработана конструкция трансмиссии, выполненная по схеме двухпоточная с дифференциалом на входе – трёхпоточная. Трансмиссия содержит две регулируемые аксиально-поршневые реверсивные гидромашин с наклоняемым блоком. Управление трансмиссией – электро-гидравлическое микропроцессорное, с обратной связью по отношению оборотов двух звеньев четырёхзвенного механизма ( по этому же отношению определяется момент переключения режимов).

В настоящее время ведутся работы по отработке конструкции гидромашин и созданию макетного образца системы управления трансмиссией, для отработки управления.

Разработка и внедрение на МТЗ тракторов с ОГМТ позволит вывести отечественные трактора на новый технический и потребительский уровень.

### **Литература**

1. Profi 2001 №7 s 54-55.
2. Landwirtschaftliches Wochenblatt, Westfalen – Lippe, 2001, №5