

УДК 621.83

Трансмиссия нового типа с непрерывной передачей потока мощности для тракторов класса 14 кН

А.Г.Хливняк

Государственное предприятие «Институт машин и систем»
(м. Харьков, Украина), 1676271@gmail.com

Рассмотрены вопросы работы тракторной трансмиссии нового типа, созданной на основе оригинальной механической коробки переключения передач с непрерывной передачей потока мощности. Такая трансмиссия позволяет изменять передаточное отношение под нагрузкой без использования муфты сцепления. Применение предлагаемой трансмиссии позволяет улучшить эксплуатационные характеристики тракторов.

Ключевые слова: трансмиссия, сцепление, коробка перемены передач, трактор, поток мощности, крутящий момент, скорость движения, нагрузка.

Коробка переключения передач с непрерывной передачей потока мощности (КПП-НП) позволяет осуществлять переключение передач в условиях непрерывной передачи крутящего момента без использования муфты сцепления и с минимальными динамическими перегрузками трансмиссии. Последнее особенно актуально для трансмиссий тракторов малого и среднего классов. Действительно, при движении с малой скоростью и большими нагрузками на ДВС, например, во время пахоты, переключение передач с помощью обычной механической КПП крайне проблематично либо вообще невозможно, т.к. во время переключения на небольших скоростях трактор может просто заглохнуть, вследствие неизбежного кратковременного разрыва потока мощности на муфте сцепления. КПП-НП обеспечивает также автоматическую защиту элементов трансмиссии от перегрузок по крутящему моменту.

Анализ последних достижений и публикаций. Указанная проблема регулирования передаточного отношения трансмиссии под нагрузкой на мощных тракторах больших тяговых классов (Т-150К, John Deere и др.) решается за счет использования в трансмиссиях различных гидромеханических устройств типа гидроподжимных муфт (ГПМ). Регулирование передаточного отношения осуществляется ступенчато в достаточно узком диапазоне, а разрыва потока мощности удается избежать благодаря кратковременному проскальзыванию фрикционных элементов ГПМ.

В последнее время для тракторов мощностью более 200 л.с. все шире применяются бесступенчатые комбинированные гидрообъемно-механические трансмиссии (ГОМТ), передаю-

щие поток мощности через гидрообъемную передачу (ГОП) и механические зубчатые редукторы с различными передаточными отношениями, обеспечивающие два или более механических диапазона регулирования [1]. В таких передачах обычно происходит суммирование одного потока мощности, передаваемого через ГОП, и другого, чисто механического потока мощности.

Все без исключения гидромеханические трансмиссии значительно сложнее и дороже обычных механических трансмиссий, и, кроме того, имеют довольно большие габариты и вес. По этой причине они практически не применяются на тракторах тяговых классов 14 и ниже.

Другим существенным недостатком гидромеханических трансмиссий по сравнению с традиционными механическими трансмиссиями является неизбежное снижение КПД, поскольку часть мощности ДВС расходуется только на поддержание работоспособности гидравлических систем. Например, при движении трактора с ГОМТ в режиме пахоты потери мощности только на привод систем и вентиляцию составляют 10-12% [1].

Кроме приведенного, любая гидравлическая передача, как гидрообъемная так и гидродинамическая, имеет определенный достаточно узкий диапазон регулирования передаточного отношения, и при работе на краях этого диапазона КПД значительно снижается. Такое снижение КПД обусловлено тем, что при работе на краях диапазона происходит существенное перераспределение потока мощности таким образом, что передаваемая через зубчатые передачи механическая часть данного потока $N_{\text{мех}}$ уменьшается, а гидравлическая часть потока мощности $N_{\text{гидр}}$ возрастает, и в таком случае

общий КПД трансмиссии падает до 0,8 и ниже [1]. Отметим, что КПД непосредственно в самой ГОП как в структурной части ГОМТ в зависимости от передаточного отношения может снижаться и до 0,75 [2].

Необходимо также указать, что ГОП имеет значительные проблемы, связанные с точностью изготовления деталей и необходимостью обеспечения надежных уплотнений при высоких рабочих давлениях (35 мПа и более) [2, 3].

Различные электромеханические трансмиссии хотя и позволяют наряду с возможностью бесступенчатого регулирования передаточного отношения при всех скоростных режимах эксплуатации трактора обеспечить достаточно большой крутящий момент на ведущих колесах, однако сложны и дороги в производстве и эксплуатации, имея при этом довольно низкий КПД. Такие трансмиссии находят лишь ограниченное применение на тракторах самых больших тяговых классов, где не столь существенны конструктивные ограничения по весу и габаритам, а высокая стоимость трансмиссии не является критичной, если таковую стоимость рассматривать как удельную составляющую в общей достаточно большой стоимости трактора данного тягового класса.

Постановка задачи исследования. Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что электромеханические и комбинированные гидромеханические тракторные трансмиссии различных типов хотя и позволяют в некотором диапазоне бесступенчато регулировать передаточное отношение без разрыва потока мощности, имеют целый ряд принципиальных недостатков, т. е. прежде всего высокую стоимость, а также большие габариты и вес, что существенно ограничивающих сферу их применения, особенно на тракторах малых тяговых классов.

При этом реализация принципа бесступенчатого регулирования передаточного отношения трансмиссии с помощью существующих электромеханических либо гидравлических устройств, вследствие невысокого КПД таких устройств, не позволяет создать трансмиссию с рабочими характеристиками, близкими к характеристикам идеальной трансмиссии.

Далее предлагается создать регулируемую тракторную трансмиссию нового типа, по своим стоимостным и габаритным характеристикам пригодную для использования на тракторах тяговых классов от 14-20 кН до самых малых тяговых классов, основанную на следующих принципах:

1. Полное исключение из силовой части трансмиссии гидравлических систем.

2. Отказ от принципа абсолютно бесступенчатого регулирования передаточного отношения (как в трансмиссиях типа CVT), но с обеспечением возможности непрерывного ступенчатого регулирования с небольшим шагом путем использования увеличенного количества фиксированных передач в пределах каждого скоростного диапазона.

3. Использование чисто механического регулирования передаточного отношения под нагрузкой без разрыва потока мощности за счет реализации возможности кратковременного включения одновременно двух соседних передач КПП. Такое включение осуществляется при минимальном внешнем вложении энергии.

Реализация п.п. 1-3 позволит осуществить процесс передачи вращательного движения с достаточно точной аппроксимацией работы идеальной трансмиссии, имеющей высокий КПД и рабочую характеристику, приближенную к гиперболической.

Использование КПП-НП в трансмиссиях тракторов позволит оптимизировать тяговый баланс трактора даже в условиях экстремальных нагрузок, т.е. всегда своевременно включать нужную передачу, постоянно обеспечивая работу ДВС в оптимальном (самом экономичном) режиме, а именно на средних оборотах с передачей наибольшего крутящего момента. Полностью отпадает необходимость насильно вводить двигатель на запредельных оборотах, снижая его моторесурс и перерасходуя топливо. При этом улучшаются основные эксплуатационные характеристики трактора, упрощается управление, а также снижается расход топлива до 10-15%.

КПП-НП может быть установлена взамен существующей механической ступенчатой КПП трактора. Возможно также использование корпуса существующей КПП с заменой только верхней крышки с системой управления. При этом количество передач при сопоставимых весо-габаритных характеристиках коробки может быть существенно увеличено (вместо 4-х передач будет 6-7), а диапазон D регулирования передаточного отношения возрастет. Таким образом, работа КПП-НП будет достаточно хорошо соответствовать работе идеальной трансмиссии во всем эксплуатационно-необходимом скоростном режиме движения трактора.

На основе конструкторских наработок, реализованных в КПП-НП могут быть также улучшены и модернизированы раздаточные коробки и переключатели диапазонов.

Конструкция механической КПП-НП несложная, в ней отсутствуют дорогостоящие и мало-надежные гидравлические и пневматические устройства, при этом, она функционально по ряду параметров превосходит аналогичные системы для гидромеханических КПП типа «AIISSON», либо для КПП с двойным сцеплением типа «DSG», и в то же время КПП-НП существенно проще, надежнее и дешевле.

Изложение основного материала. Предлагаемая КПП-НП представляет собой механическую КПП нового типа, функционально объединяющую в единую систему многоскоростную двухвальную коробку перемены передач с непрерывной передачей вращательного движения и крутящего момента и муфту начала движения (муфту сцепления). При этом процесс переключения передач обладает высокой эргономичностью, т. е. при переходе с низшей передачи на высшую максимально полно используется накопленная кинетическая энергия вращающегося коленчатого вала и маховика ДВС.

Рабочая характеристика КПП-НП (т. е. зависимость между оборотами выходного вала n_2 и крутящим моментом M_2 на этом валу) при постоянных оборотах ДВС и постоянной мощности двигателя N_e максимально приближена к гиперболлической характеристике идеальной трансмиссии (т.е. с большой точностью выполняется соотношение: $N_e \approx 1,047M_2n_2$). Поскольку работа КПП-НП соответствует работе идеальной трансмиссии, все эксплуатационно-необходимые изменения скоростного режима трактора могут осуществляться только за счет переключения передач при минимальных колебаниях оборотов ДВС, т. е. обеспечивается возможность эксплуатации двигателя при средних оборотах в наиболее экономичном режиме.

КПД КПП-НП составляет не менее 0,96. При этом общий КПД всей трансмиссии трактора с учетом неизбежных потерь в главной передаче и конечных передачах составит около 0,9.

Принципиальных ограничений на передачу больших мощностей и крутящих моментов КПП-НП не имеет, поэтому при некоторых доработках может быть использована и в трансмиссиях тракторов больших тяговых классов (30 и более).

Стоимость КПП-НП в серийном производстве сопоставима со стоимостью традиционной механической ступенчатой КПП с синхронизаторами.

Общий принцип действия КПП-НП состоит в использовании шестерен постоянного зацепления и управляемых механических поджимных муфт (МПМ) при переключении передач без разрыва потока мощности.

Количество МПМ равно количеству передач. Каждая шестерня первичного вала КПП-НП соединена с одной из МПМ.

Каждая МПМ содержит малонагруженную муфту управления (МУ), с которой кинематически связана силовая муфта (СМ), выполненная в виде оригинального тормозного механизма. Каждая МУ взаимодействует со своей вилкой. Муфта управления имеет регулируемый ограничитель крутящего момента. При этом крутящий момент на муфте управления в 50-80 раз меньше, чем крутящий момент на силовой муфте.

Процесс переключения передач длится 0,1 – 0,3 сек и осуществляется с перекрытием, т.е. выключение одной передачи осуществляется одновременно с включением другой передачи. При включении МПМ сначала в результате осевого перемещения вилки срабатывает МУ, затем за счет энергии вращающегося первичного вала происходит плавный поджим и блокирование силовой муфты. Процесс разблокирования МПМ происходит автоматически только после принудительного выключения МУ осевым перемещением соответствующей вилки. При этом работу МУ можно сравнить с работой синхронизатора, а работу СМ можно сравнить с работой шлицевой муфты в традиционной механической КПП. В процессе переключения в течение очень короткого промежутка времени (~0,05 сек.) включенными оказываются две МПМ. При этом крутящий момент, передаваемый одной муфтой МПМ уменьшается, а момент, передаваемый второй – увеличивается. Блокировки КПП-НП не происходит вследствие срабатывания ограничителей крутящего момента.

При переключении передач с кратковременным использованием одновременно двух МПМ обеспечивается эффект автоматической релаксации динамических перегрузок трансмиссии.

Управление переключением передач происходит по очень простой схеме путем проворачивания вала управления на определенный угол β , что вызывает осевые перемещения вилок. Этот процесс может осуществляться дистанционно в ручном или автоматическом режиме при минимальных энергозатратах. Поскольку управление переключением КПП-НП осуществляется по упрощенной однопараметрической схеме

(единственным изменяемым параметром является угол β), при необходимости систему управления для КПП-НП несложно автоматизировать.

Габаритные и нагрузочные характеристики МПМ позволяют в 1.5-2 раза увеличить количество передач КПП и существенно расширить диапазон D регулирования передаточного отношения, т. е. взамен 4-х ступенчатой механической КПП, имеющей $D \approx 3$, может быть установлена 6-7 ступенчатая КПП-НП таких же размеров с более широким диапазоном регулирования передаточного отношения.

Применение КПП-НП на тракторе позволяет полностью исключить из конструкции трансмиссии муфту сцепления, либо сохранить ее только для выполнения ремонтных и пусконаладочных работ, но не использовать в основное время эксплуатации трактора.

Рассмотрим более подробно динамические процессы при переключении передач. Пусть промежуток времени, затраченного на переключение составляет Δ_t . Пусть передаточное отношение между двумя соседними передачами отличается в k раз. Пусть обороты ДВС до переключения составляют n_0 и совпадают с оборотами первичного вала КПП-НП. Пусть обороты вторичного вала КПП-НП n_2 остаются до переключения совпадают с n_0 и остаются постоянными за короткий промежуток времени Δ_t . Т. е. скорость трактора за достаточно короткий промежуток времени Δ_t практически не успевает измениться ($n_2 \approx n_0$). Угловая скорость первичного вала ω_0 до переключения составит: $\omega_0 = 0,1047n_0$. Угловая скорость первичного вала ω_1 после переключения составит:

$$\omega_1 = 0,1047n_0 + \varepsilon\Delta_t, \quad (1)$$

где угловое ускорение ε , определяющее закон движения первичного вала КПП-НП в процессе переключения, вычисляем по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\omega_1 - \omega_0}{\Delta_t} = \frac{0,1047n_0(k-1)}{\Delta_t}. \quad (2)$$

Теперь найдем динамический крутящий момент M_d который необходимо приложить к первичному валу КПП-НП в процессе переключения:

$$M_d = \frac{0,1047n_0(k-1)}{\Delta_t} J_d, \quad (3)$$

где J_d — момент инерции ДВС трактора.

В рамках идеализированной постановки задачи будем считать, что непосредственный процесс включения в работу МУ МПМ вновь включаемой передачи происходит за пренебрежимо малый промежуток времени Δ_{t0} , ($\Delta_{t0} \ll \Delta_t$) а об-

щий промежуток времени, затраченного на переключение (Δ_t) учитывает также и время динамической релаксации двух соседних МПМ, задействованных в процессе переключения, т.е. за время Δ_t полностью выравниваются угловые скорости первичного вала и расположенной на нем шестерни вновь включаемой передачи. При достаточно быстром включении повышенной передачи изменением скорости движения трактора можно пренебречь, тогда обороты ДВС должны за время Δ_t уменьшиться в k раз.

Для 7-ми скоростной КПП-НП с диапазоном регулирования передаточного отношения $D = 3$ передаточное отношение между двумя соседними передачами с учетом подбора числа зубьев отличается примерно в 1,2 раза ($k \approx 1,2$)

Теперь найдем динамический крутящий момент M_d , который передается на ДВС в процессе переключения передач для трактора МТЗ-80, в котором $J_d \approx 2$ кг·м², а номинальный крутящий момент двигателя $N_e \approx 300$ Н·м. В соответствии с выражением (3) при $\Delta_t = 0,15$ сек. и $n_0 = 1000$ об./мин. $M_d \approx 280$ Н·м. Следовательно, выполняется соотношение:

$$M_d \leq M_e. \quad (4)$$

Отсюда можно сделать вывод, что при указанных расчетных параметрах перегрузки ДВС и трансмиссии в процессе переключения передач в КПП-НП происходить не будет, а уменьшать общий промежуток времени Δ_t , затраченного на переключение, представляется нецелесообразным с учетом необходимости обеспечения динамической релаксации двух соседних МПМ и ограничения максимального динамического крутящего момента M_d в соответствии с необходимостью выполнения соотношения (4).

Выводы. Предложенная КПП-НП может быть использована в трансмиссиях тракторов тягового класса 14 и меньших классов. При некоторых доработках конструкции КПП-НП может быть установлена и на тракторах классов 20, 30 и более. Применение КПП-НП в трансмиссии трактора обеспечит следующие преимущества.

1) *Возможность снижения мощности ДВС до 15% без ухудшения тяговых и эксплуатационных характеристик трактора.* Это связано с необходимостью для ДВС трактора с традиционной трансмиссией (с муфтой сцепления и механической ступенчатой КПП) иметь неиспользуемый в основное время избыточный запас мощности, необходимый для преодоления кратковременных перегрузок, связанных с разрывом потока мощности на старте и при переключениях передач.

2) *Экономия горючего до 10-15%* в зависимости от режима эксплуатации трактора за счет оптимизации работы ДВС.

3) *Снижение массы и габаритов тракторной трансмиссии* за счет исключения из конструкции муфты сцепления.

4) *Повышение ресурса работы ДВС и трансмиссии* за счет снижения динамических перегрузок трансмиссии и эксплуатации ДВС трактора на оптимальных оборотах.

5) *Упрощение системы управления трансмиссией трактора*, создание более комфортных условий для тракториста.

Литература

1. Самородов В.Б. Обоснование оптимальных конструктивных параметров бесступенчатой трансмиссии трактора / А.В. Рогов, В.Б. Самородов // Вестник НТУ «ХПИ». Тематический выпуск «Автомобиле- и тракторостроение». – 2010. – № 1. – С. 124 - 131.
2. Харитонов, С.А. Автоматические коробки передач / С.А. Харитонов. – М.: АСТ, 2003. – 479 с
3. Петров В. А. Гидрообъемные трансмиссии самоходных машин [Текст] / В.А. Петров. – М.: Машиностроение, 1988. – 248 с.

Анотація

Трансмiсія нового типу iз неперервною передачею потоку потужностi для тракторiв класу 14 кН

О.Г.Хливняк

Розглянуто питання функціонування тракторної трансмісії нового типу, на основі оригінальної механічної коробки зміни передач із неперервною передачею потоку потужності. Така трансмісія дозволяє змінювати передатне відношення під навантаженням без використання муфти зчеплення. Застосування запропонованої трансмісії дозволяє поліпшити експлуатаційні характеристики тракторів.

Ключові слова: трансмісія, зчеплення, коробка зміни передач, трактор, потік потужності, крутний момент, швидкість руху, навантаження.

Abstract

Transmission of a new type with a continuous flow transmission power tractor 14 kN class

A.G.Hlivnyak

The problems of working tractor transmission of a new type, based on the original manual gearbox with continuous transmission power flow were reviewed. The transmission allows to change the gear ratio under load without the use of a clutch. Application of the proposed transmission can improve the performance of tractors.

Key words: transmission, clutch, gearboxes, tractor, power flow, torque, speed, load.

Представлено: М.А.Подригало / Presented by: M.A.Podrigalo

Рецензент: М.Л.Шуляк / Reviewer: M.L.Shuljak

Подано до редакції / Received: 12.12.2014