

проведения натурной оценки показателей криволинейного движения электробусов различных компоновочных схем.

Представлено 30.04.2020

УДК 629.114

**ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТРАНСМИССИЙ  
СОВРЕМЕННЫХ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ**  
TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF TRANSMISSIONS  
OF MODERN WHEELED TRACTORS

**А.С. Поварехо**, канд. техн. наук, доц.,  
**А.И. Рахлей**, канд. техн. наук, доц., **С.Н. Андрукович**,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь  
A. Pavarekha, PhD in Engineering, Associate Professor,  
A. Rakhley, PhD in Engineering, Associate Professor, S. Andrukovich,  
Belarusian national technical University, Minsk, Belarus

*Технический уровень тракторов, эффективность их использования в значительной степени зависят от типа трансмиссии, числа передач, разницы в передаточных отношениях соседних передач, количества диапазонов, способа переключения передач, надежности и их стоимости.*

*В отличие от автомобильных тракторные трансмиссии должны обеспечивать не только хорошие динамические характеристики движения машины, но и выполнение большого числа технологических операций в широком диапазоне скоростей и тяговых усилий. Поэтому при создании новых тракторов необходимо корректно синтезировать структуру трансмиссии и выбрать ее рациональные конструктивные параметры, обеспечивающие высокую функциональность при низких затратах на изготовление и эксплуатацию.*

*The technical level of tractors and the efficiency of their use largely depend on the type of transmission, the number of gears, the difference in*

*the gear ratios of neighboring gears, the number of ranges, the method of switching gears, reliability and their cost.*

*In contrast to automotive tractor transmissions must provide not only the dynamic characteristics of the movement of the machine, but also the performance of a large number of technological operations in a wide range of speeds and traction forces. Therefore, when creating new tractors, it is necessary to correctly synthesize the transmission structure and choose its rational design parameters that ensure high functionality at low costs for production and operation.*

*Ключевые слова: трансмиссия, трактор, тенденции развития, конструктивные особенности.*

*Key words: transmission, tractor, development trends, design features.*

## ВВЕДЕНИЕ

Применяемые на тракторах дизельные двигатели имеют коэффициент приспособляемости 1,15–1,35. В то же время, при выполнении сельскохозяйственных и транспортных работ тяговое сопротивление агрегатируемого оборудования может изменяться в 10–12 раз.

Требуемый диапазон изменения реального сопротивления движению в случае механической трансмиссии перекрывается за счет диапазона передаточных отношений и коэффициента приспособляемости двигателя. В этом случае диапазон передаточных отношений должен лежать в пределах  $d=7,5–10,5$ . Для перекрытия диапазона скоростей диапазон трансмиссии должен находиться в пределах  $d = 130–140$ . Т.е., для перекрытия диапазона необходимых скоростей движения трактора диапазон трансмиссии должен быть более чем на порядок выше, чем диапазон для перекрытия возможных сопротивлений движению.

Это в значительной степени определяет сложность и особенности структуры трансмиссий тракторов различных тяговых классов и назначения.

В данной статье проанализированы конструктивные решения трансмиссий тракторов ведущих мировых производителей и выявлены основные тенденции их развития.

## ОСОБЕННОСТИ ТРАНСМИССИЙ ТРАКТОРОВ

В используемых в настоящее время конструкциях трансмиссии имеются, как правило три диапазона скоростей: пониженные, рабочие и транспортные.

Движение трактора в диапазоне пониженных скоростей определяется технологическими операциями, требующими малых скоростей движения в пределах 0,1–1 м/с. Передаточные отношения трансмиссии выбираются, исходя из заданных технологических скоростей движения. Двигатель при этом не загружен.

Диапазон рабочих скоростей движения в пределах 2,5–4,1 м/с является основным. Передаточные отношения ступенчатых трансмиссий подбираются по закону геометрической прогрессии. Двигатель при работе на этом диапазоне загружен максимально (оптимальный режим работы).

Диапазон транспортных скоростей движения трактора находится в пределах 4–11,5 м/с. Передаточные отношения этого диапазона также подчиняются закону геометрической прогрессии. Однако минимальный коэффициент нагрузки двигателя меньше, чем при движении на рабочих передачах.

При ступенчатой КП номинальное значение силы тяги реализуется при оптимальном режиме работы двигателя. При всех других значениях силы тяги двигатель работает с недогрузкой или с перегрузкой, что влечет снижение производительности и экономичности тракторного агрегата. Увеличение суммарного интервала сил тяги от  $F_{k.min}$  до  $F_{k.max}$ , при котором должен работать трактор, неблагоприятно влияет на его производительность и экономичность. Увеличение числа рабочих передач оптимизирует эти показатели.

При бесступенчатой трансмиссии передаточные отношения автоматически устанавливаются в соответствии с силами сопротивления, вследствие чего производительность и экономичность тракторного агрегата практически достигают своих оптимальных значений.

## АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ТРАНСМИССИЙ СОВРЕМЕННЫХ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ

Анализ развития конструкций трансмиссий тракторов, как отечественного производства, так и ведущих зарубежных фирм (Carraro, Claas (Renault), Deutz-Fahr, Fendt, John Deere, Landini, Massey Ferguson, New Holland, Same, Steyr, Zetor) показывает, что преобладают

механические ступенчатые КП с зубчатыми муфтами, синхронизаторами и подвижными каретками. Далее следуют КП с переключением на ходу и бесступенчатые трансмиссии (гидродинамические, гидростатические, электрические). Создание фрикционных и инерционных передач остается на стадии экспериментальных исследований.

В результате исследований установлены следующие тенденции создания трансмиссий.

1. В типоразмерных рядах тракторов различных фирм одинаковые типы трансмиссии используются для тракторов следующих мощностных диапазонов: 35–60 л. с.; 50–95 л. с.; 75–125 л. с.; 105–180 л. с.; 170–260 л. с.

2. В большинстве тракторные коробки передач построены по диапазонному принципу. Наибольшее количество диапазонов и передач – на тракторах мощности 80–150 л. с.

3. Тракторные трансмиссии базовых комплектаций обеспечивают скорости движения трактора в основном ряду 2–40 км/ч (30 км/ч для стран с законодательным ограничением максимальной скорости движения трактора). Имеется тенденция отмены ограничения максимальной скорости движения трактора 30 км/ч, а также увеличения максимальной скорости движения трактора до 50 км/ч. Наличие такой ускоряющей передачи позволяет при принудительном ограничении оборотов двигателя получить экономичную транспортную скорость 40 км/ч.

4. Ходоуменьшители, как правило, встроенные, механические ступенчатые, несинхронизированные, обеспечивают минимальную скорость движения трактора 0,5 км/ч с тенденцией понижения до 0,3 км/ч. На отдельных моделях достигнуты скорости 0,11–0,14 км/ч, применено электрогидравлическое управление ходоуменьшителем. В большинстве случаев трансмиссии комплектуются ходоуменьшителями как дополнительным оборудованием.

5. Скоростные ряды тракторных трансмиссий характеризуются максимальной плотностью распределения скоростей в рабочем диапазоне (3–4)...(12–15) км/ч с коэффициентом геометрической прогрессии  $q = 0,11–0,13$ . Вне указанного диапазона  $q$  возрастает до 0,25–0,35. Наблюдается тенденция использования все более низких передач для построения транспортных рядов с целью улучшения разгонных качеств машинно-тракторного агрегата.

6. Классическая схема трансмиссии: двигатель – муфта сцепления – коробка передач – задний мост характерна для большинства ступенчатых трансмиссий. В коробке передач последовательно располагаются узел передач и диапазонный редуктор, при этом на входе коробки передач может дополнительно устанавливаться 2-3-4-ступенчатый делитель (сплиттер), а на выходе – выходной планетарный или цилиндрический редуктор.

7. На тракторах с многоскоростным (6–9 ступеней) узлом переключаемых под нагрузкой передач (PowerShift) и синхронизированным редуктором диапазонов наметилась тенденция установки главной муфты сцепления между узлом передач и редуктором диапазонов, что улучшает условия работы синхронизаторов и облегчает включение диапазонов.

8. Прослеживается тенденция увеличения вариантности конструкций трансмиссий, когда на основе базовой конструкции путем установки видоизмененных и дополнительных узлов (установка в базовую синхронизированную коробку узла передач PowerShift, сплиттера, ходуменьшителя, синхрореверса, силового реверса и т.д. в различных сочетаниях) создается ряд конструкций разной сложности, стоимости и потребительских качеств.

9. Расширение многовариантности компоновочных схем тракторов, борьба с шумом и вибрациями на рабочем месте оператора обусловили тенденцию отказа от жестко связанных с корпусами трансмиссии приводов управления узлами трансмиссии и расширение доли эластичных приводов – тросовых, электрогидравлических, часто со средствами микропроцессорной техники.

10. В развитии конструкций задних мостов отмечается тенденция увеличения передаточного числа моста в целом и конечной передачи, связанная со стремлением разгрузить коробку передач. В конструкциях задних мостов преобладают планетарные конечные передачи. Увеличение передаточных чисел конечных передач связано с развитием конструкций планетарных передач – одно- и двухрядных – с одновенцовыми сателлитами; с двухвенцовыми сателлитами.

11. Развитие конструкций валов отбора мощности идет в направлении увеличения количества самих ВОМ, ступеней ВОМ и совершенствования систем управления ВОМ. Передний независимый и синхронный (для тракторов малой и средней мощности, на мощных тракторах отсутствует) ВОМы в большинстве случаев предлагаются

в качестве дополнительного оборудования. Ряд моделей оснащены боковым ВОМ. Все большее распространение получают задние независимые ВОМ со скоростями вращения 750 и 1400 об/мин, позволяющие на работах с невысокими энергозатратами обеспечить номинальный скоростной режим работы ВОМ на наиболее экономичном скоростном режиме работы двигателя. Передний ВОМ, как правило, односкоростной (1000 об/мин), редко – двухскоростной (540 и 1000 об/мин). Включение ВОМ осуществляется с помощью гидрорегулируемой фрикционной муфты с электрогидроуправлением, в том числе микропроцессорным.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для отдельных мощностных диапазонов можно сделать следующие выводы по структуре трансмиссии.

Тракторы мощностью 60–100 л.с. оснащаются, как правило, однодисковыми МС сухого типа, коробками передач диапазонного типа с переключением 3<sup>х</sup>, 4<sup>х</sup>, 5<sup>ти</sup>, 6<sup>ти</sup> передач синхронизаторами, как более дешевые, или, по заказу, 2<sup>х</sup>, 3<sup>х</sup>, 4<sup>х</sup> передач под нагрузкой (фрикционными муфтами) внутри каждого диапазона, количество передач при этом 8, 15, 16, 20, 21, 32. Задние мосты – с планетарными или цилиндрическими конечными передачами. ВОМ 2<sup>х</sup>, 3<sup>х</sup>, 4<sup>х</sup> скоростной, синхронный ВОМ – как стандартное оборудование или по заказу.

На тракторах мощностью 110–200 л.с. применяются 1–2-х дисковые сухие или многодисковые мокрые МС, КП с переключением 3<sup>х</sup>, 4<sup>х</sup>, 6<sup>ти</sup> передач синхронизаторами, или 3<sup>х</sup>, 4<sup>х</sup>, 6<sup>ти</sup>, 9<sup>ти</sup> передач с переключением под нагрузкой в каждом диапазоне, при этом, с увеличением мощности предпочтение отдается коробкам передач с переключением передач под нагрузкой. Переключение диапазонов осуществляется синхронизаторами. Общее количество передач вперед: 16, 20, 24, 32, 36, 72, 102, назад: 16, 20, 32, 36. Задние мосты – планетарно-цилиндрические или планетарные. ВОМ независимый – 2<sup>х</sup>, 3<sup>х</sup>, 4<sup>х</sup> скоростной.

На тракторах мощностью 170 – 260 л.с. применяются в основном мокрые МС, КП с переключением 4<sup>х</sup>, 6<sup>ти</sup>, 9<sup>ти</sup>, 16<sup>ти</sup>, 18<sup>ти</sup> передач под нагрузкой с количеством передач 16F+8R, 18F+8R, 24F+24R, 27F+27R. Две фирмы – Fendt и Steyr продолжают активную рекламу двухпоточных трансмиссий. Задние мосты – планетарные, одно- и двухрядные. ВОМ – независимый, 1- или 2-скоростной.

Представленные в работе результаты могут быть использованы при синтезе трансмиссий тракторов различного мощностного диапазона и тягового класса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Официальные сайты производителей тракторной техники.
2. Каталоги выпускаемой тракторостроительными фирмами продукции.

Представлено 20.04.2020