

МЕХАНИЗМ ПРИВОДА ВАЛА ОТБОРА МОЩНОСТИ С ИНТЕГРИРОВАННОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ МАШИНОЙ

И. И. БОНДАРЕНКО

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь, 220023, e-mail: kaf.tia@bsatu.by

(Поступила в редакцию 27.09.2021)

В Республике Беларусь политика в сфере сельскохозяйственного производства направлена на создание крупнотоварных сельскохозяйственных предприятий с полным циклом получения и переработки сельскохозяйственной продукции. Для реализации этого направления предприятия Республики оснащены современными энергонасыщенными тракторами и сельскохозяйственной техникой, которые оснащены приводом рабочих органов от вала отбора мощности трактора. Показатели качества выполнения технологического процесса сельскохозяйственных машин с активным приводом определяются и нормируются при постоянной частоте вращения вала отбора мощности трактора при его работе в независимом режиме.

В настоящее время наблюдается тенденция увеличения доли сельскохозяйственных операций с использованием агрегатов, имеющих активные рабочие органы (АРО). Также развитие конструкций сельскохозяйственных машин и агрегатов идет по пути увеличения количества и массы активных рабочих органов, усложнения схемы их привода, что приводит к возрастанию величины инерционных масс в трансмиссиях сельскохозяйственных машин и агрегатов. Работа трактора с такими сельскохозяйственными машинами и агрегатами характеризуется увеличением динамической нагруженности механизма привода вала отбора мощности (ВОМ), повышением износа фрикционных накладок ленточных тормозов и муфт включения при разгоне АРО. При проектировании и производстве механизмов привода ВОМ для новых моделей тракторов существует ряд задач, требующих решения: создание механизма привода ВОМ, позволяющего использовать автоматическую систему управления работой, снижение нагруженности и повышение надежности механизма привода ВОМ.

Известно несколько типов механизмов привода вала отбора мощности, используемых в настоящее время на отечественных тракторах, рассмотрены наиболее часто встречающиеся.

В статье рассмотрены недостатки при агрегатировании трактора с сельскохозяйственными машинами с приводом от вала отбора мощности, в конструкции которых имеются сухие или мокрые пары трения, предложена конструкция и дано описание принципа работы вала отбора мощности, содержащего гидравлическую машину.

Ключевые слова: трактор, вал отбора мощности, нагруженность, гидравлическая машина, активные рабочие органы.

In the Republic of Belarus, the policy in the field of agricultural production is aimed at creating large-scale agricultural enterprises with a full cycle of obtaining and processing of agricultural products. To implement this direction, enterprises of the Republic are equipped with modern energy-intensive tractors and agricultural machinery, which are equipped with a drive of the working bodies from the tractor power take-off shaft. The quality indicators of technological process of agricultural machines with an active drive are determined and standardized at a constant rotational speed of the tractor power take-off shaft when it is operating in an independent mode.

Currently, there is a tendency to an increase in the share of agricultural operations using units with active working bodies. Also, the development of designs of agricultural machines and aggregates follows the path of increasing the number and mass of active working bodies, complicating the scheme of their drive, which leads to an increase in the value of inertial masses in the transmissions of agricultural machines and aggregates. The operation of a tractor with such agricultural machines and units is characterized by an increase in the dynamic loading of the power take-off shaft drive mechanism, an increase in the wear of friction linings of band brakes and engagement clutches during the acceleration of active working bodies. When designing and manufacturing PTO drive mechanisms for new tractor models, there are a number of tasks that need to be solved: the creation of a PTO drive mechanism that allows using an automatic operation control system, reducing the load and increasing the reliability of the PTO drive mechanism.

Several types of power take-off shaft drive mechanisms are known that are currently used on domestic tractors, the most common ones are considered.

The article discusses the disadvantages when aggregating a tractor with agricultural machines driven by a power take-off shaft, in the design of which there are dry or wet friction pairs, a design is proposed and the principle of operation of a power take-off shaft containing a hydraulic machine is described.

Key words: tractor, power take-off shaft, loading, hydraulic machine, active working bodies.

Введение

При проектировании и производстве механизмов привода ВОМ для новых моделей тракторов существует ряд задач, требующих решения: создание механизма привода ВОМ, позволяющего использовать автоматическую систему управления работой, снижение нагруженности и повышение надежности механизма привода ВОМ.

Проведенный литературный обзор показал основные принципы и методы исследования механизма привода вала отбора мощности с интегрированной гидравлической машине в современных условиях эксплуатации и их обоснование. Проводился анализ новейшей научной литературы, проведен обзор патентного поиска, рассмотрены отчеты государственной научно-технической программы «Белавто-тракторостроение».

Цель данной работы – выявить недостатки при агрегатировании трактора с сельскохозяйственными машинами с приводом от вала отбора мощности, в конструкции которых имеются сухие или мокрые пары трения и предложить конструкцию и дать описание принципа работы вала отбора мощности,

содержащего гидравлическую машину.

Основная часть

Известно несколько типов механизмов привода вала отбора мощности, используемых в настоящее время на отечественных тракторах, рассмотрим наиболее часто встречающиеся.

Первый тип – механизм привода вала отбора мощности, состоящий из планетарного редуктора и плавающих ленточных тормозов, обеспечивающий передачу момента на вал отбора мощности при затянутом тормозе солнечной шестерни и отпущенном тормозе водила или блокировку вала отбора мощности при затянутом тормозе водила и отпущенном тормозе солнечной шестерни (пример ВОМ трактора Беларус-892 [1]).

Проведем оценку использования ВОМ от годовой занятости трактора (для некоторых операций), и подсчитаем общее количество раз включения ВОМ. Оценка использования приведена в табл. 1.

Таблица 1. Использование ВОМ от годовой занятости трактора

№ п/п	Вид сельскохозяйственных работ	Использование ВОМ, %
1	Уборка кукурузы на силос комбайном КС-2,6	3,80
2	Скашивание зеленой массы на корм косилкой КИР-1,5	4,80
3	Скашивание зерновых в валки жаткой ЖРБ-4,9	1,48
4	Опрыскивание опрыскивателем ОВТ-1А	1,20
ВСЕГО		11,28

Частота включений вала отбора мощности на данных операциях приведена в табл. 2. Нормативы загрузки ВОМ определялись из условия работы трактора в течение 10000 часов.

Используя вышеприведенные данные, определим время работы трактора с применением отбора мощности через ВОМ:

$$T = 10000 \cdot 0,1128 = 1128 \text{ часов.} \quad (1)$$

Таблица 2. Частота включений ВОМ трактора

№ п/п	Вид сельскохозяйственных работ	Число включений ВОМ за 1 час, n
1	Уборка кукурузы на силос комбайном КС-2,6	14,2
2	Скашивание зеленой массы на корм косилкой КИР-1,5	6,9
3	Скашивание зерновых в валки жаткой ЖРБ-4,9	5,8
4	Опрыскивание опрыскивателем ОВТ-1А	–
ВСЕГО		26,9

После чего найдем общее (для выбранного количества агрегируемых машин) число включений муфты ВОМ за весь срок службы трактора:

$$N = T \cdot n = 1128 \cdot 26,9 = 30343 \text{ раза.} \quad (2)$$

Использование для включения ВОМ ленточных тормозов при таких режимах работы нецелесообразно.

Таким образом, можно сказать о следующих недостатках, которыми обладает рассматриваемый механизм привода ВОМ трактора Беларус-892:

- низкая надежность, так как используются ленточные тормоза;
- отсутствие возможности автоматизации;
- отсутствие возможности бесступенчатого изменения частоты вращения вала отбора мощности и включения ВОМ по некоторому закону.

Второй тип – механизм привода ВОМ, управление которым осуществляется за счет многодисковой фрикционной муфты (пример ВОМ трактора Беларус-1522 [2]). При включении ВОМ масло под давлением от распределителя поступает в напорную магистраль, под действием давления масла поршень сжимает диски фрикционной муфты, таким образом, соединяя редуктор ВОМ с приводным валом. При выключении фрикционной муфты поршень под давлением пружин перемещается в первоначальное положение.

В БГАТУ на кафедре «Тракторы и автомобили» выполнялись работы в рамках этапа АТС-02.01.12 «Разработать методику проведения испытаний и выполнить расчет ВОМ трактора мощностью 100...150 л.с.» государственной научно-технической программы «Белавтотракторостроение» по исследованиям нагруженности механизма привода ВОМ трактора. [3].

Исследования показали (табл. 3), что оптимальными законами включения являются экспоненциальный вогнутый и экспоненциальный выпуклый, а при ручном управлении включением муфты отработывается закон близкий к линейному, что приводит к повышенным динамическим нагрузкам в механизме привода ВОМ. В качестве параметров оптимизации принимаются: время буксования t , с; момент ведущих $M_{вед}$ и ведомых $M_{в}$ элементов фрикционной муфты, Н·м; мощность трения $N_{тр}$, кВт; работа трения $A_{тр}$, кДж.

Таблица 3. Результаты разгона активных рабочих органов

Закон включения фрикционной муфты	$\omega_{min}, \text{мин}^{-1}$	$M_{дв}, \text{Н}\cdot\text{м}$	$M_{вед\ м\ вкл}, \text{Н}\cdot\text{м}$	$M_{хв}, \text{Н}\cdot\text{м}$	$t, \text{с}$	$A_{тр}, \text{Дж}$	$N_{тр}, \text{кВт}$
линейный	1688,2	576,8	1498,6	1492,7	2,90	147,2	95,27
экспоненциальный:							
вогнутый	1669,8	578,5	1498,9	1501,2	3,44	163,2	92,33
выпуклый	1776,2	568,3	1399,2	1396,1	2,46	146,7	89,90

Для снижения динамических нагрузок в механизме привода ВОМ (во избежание поломок ведущего вала, шестерен редуктора и хвостовика ВОМ, повышенного износа фрикционных элементов муфты) при ручном управлении существует рекомендация, что при включении ВОМ рычаг управления необходимо перемещать плавно с задержкой 2–3 секунды посередине хода от нейтрали до включения ВОМ [1]. Этот вариант также обладает такими недостатками, как невысокая надежность, ручное управление.

Одним из наиболее рациональных в настоящее время способов управления режимами работы механической трансмиссии без использования фрикционных муфт, является использование бесступенчатых передач, в состав которых входит гидропривод (объемных гидромеханических передач). Он из всех типов бесступенчатых приводов вращательного типа имеет наилучшие массогабаритные показатели и динамические качества.

Зарубежные фирмы-производители автотракторной техники давно проводят работы по внедрению объемных гидромеханических передач (ОГМП) на тракторах. Так фирмами Fendt, Eссom, Claas, Steyer разработаны и установлены на тракторы объемно-гидромеханические трансмиссии. В зарубежной литературе для трансмиссий данного класса используется термин «Power Split».

Результаты практического использования сельскохозяйственных тракторов с бесступенчатой передачей показали, что они имеют больший коэффициент загрузки двигателя и более высокую среднюю скорость движения, нежели трактор с механической ступенчатой коробкой передач, что позволяет увеличить производительность трактора.

Наиболее известным применением ОГМП на тракторе является коробка передач, входящая в состав трансмиссии «Variо» [4], устанавливаемой на тракторы фирмы Fendt. Принципиальная схема трансмиссии «Variо» представлена на рис. 1.

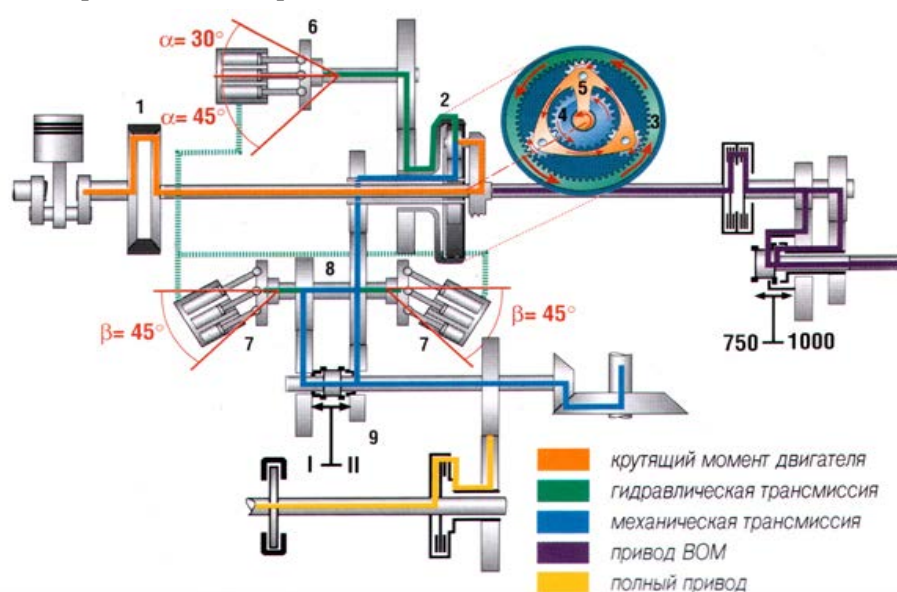


Рис. 1. Принципиальная схема устройства и распределения потоков мощности трансмиссии Fendt Variо:
1 – демпфирующая торсионная муфта; 2 – планетарная передача; 3 – коронная шестерня; 4 – солнечная шестерня;
5 – водило; 6 – гидронасос; 7 – гидромотор; 8 – суммирующий вал; 9 – переключение режима движения

Данная трансмиссия выполнена по схеме с дифференциальным механизмом на входе. Особенностью этой передачи является возможность обеспечения трогания транспортного средства с места на двухпоточном режиме с отсутствием циркуляции мощности и высоким КПД.

При вспашке со скоростью 8 км/ч через гидромоторы проходит 75 % мощности двигателя и соответственно 25 % через механику. На транспортных работах со скоростью 50 км/ч трактор обладает высоким КПД благодаря тому, что мощность передаётся через механическую ветвь.

Также бесступенчатую трансмиссию разработала фирма ZF, это трансмиссия «Eссom», установленная на тракторы Same Deutz-Fahr и John Deere. Кинематическая схема трансмиссии представлена на рис. 2.

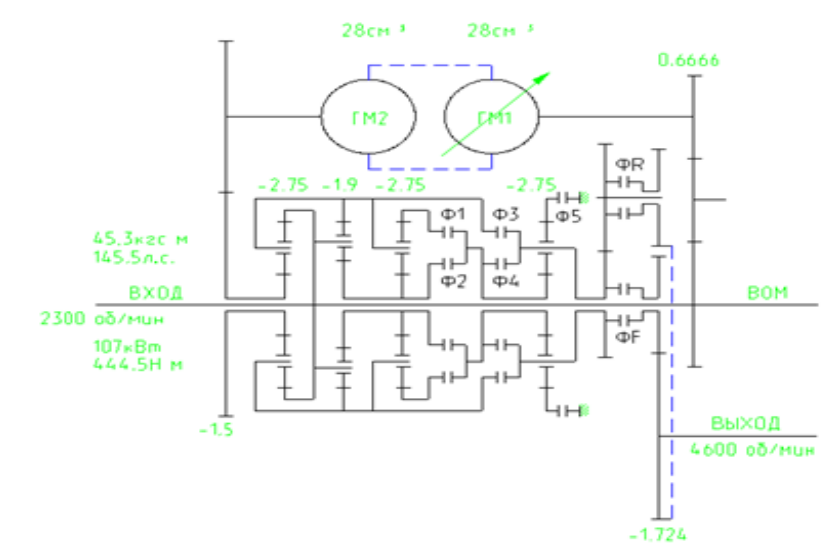


Рис. 2. Кинематическая схема трансмиссии «Ессом»

В трансмиссии применены шайбовые гидромашины с углом наклона шайбы до 20°. Доля гидростатической мощности не превышает 30 %. Принципиальная схема одновременного использования механической и гидростатической передачи в трансмиссии транспортного средства разработанная компанией Rexroth представлена на рис. 3 [5].

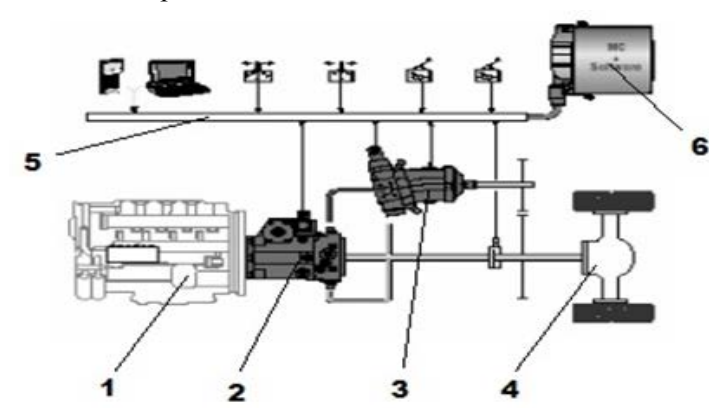


Рис. 3. Принципиальная схема трансмиссии с механической и гидростатической передачей:

1 – двигатель внутреннего сгорания; 2 – гидрообъемная машина в режиме «насос»; 3 – гидрообъемная машина в режиме «мотор»; 4 – ведущий мост; 5 – информационная шина транспортного средства; 6 – блок управления

В этой системе (рис. 2) используется двигатель внутреннего сгорания, гидростатическая передача на первой ступени механизма и механическая передача на второй ступени. При использовании гидрообъемных машин возможно изменения направления движения мобильной машины и расширение диапазона бесступенчатого изменения скорости в нужном направлении. Прямая механическая связь между двигателем и ведущим мостом может быть использована как вторая ступень, при которой гидрообъемные машины будут заблокированы, и передача крутящего момента будет производиться через механическую ступень, что будет обеспечивать отсутствие гидростатических потерь мощности.

Так, на переходных режимах работы мобильной машины (разгон, торможение и др.) в работу трансмиссии включаются элементы гидрообъемной передачи для обеспечения максимальной загрузки двигателя и повышения надежности системы в виду отсутствия фрикционных, зубчатых муфт. При переходе работы на установившиеся режимы работы мобильной машины для снижения гидравлических потерь производится отключение гидрообъемной передачи и переход на механическую передачу.

Недостатками рассмотренных трансмиссий тракторов является отсутствие гидрообъемной передачи в механизме привода вала отбора мощности, что при увеличении количества и массы активных рабочих органов сельскохозяйственных машин и агрегатов, усложнения схемы их привода, неблагоприятно сказывается на надежности и долговечности как механизмов привода ВОМ тракторов, так и трансмиссий сельскохозяйственных машин и агрегатов.

Задачами, стоящими перед предлагаемым механизмом, являются: автоматизация процессов включения и управления работой вала отбора мощности, снижение динамической нагруженности механизма привода вала отбора мощности.

Механизм привода вала отбора мощности трактора, содержит планетарный редуктор и гидрообъемную машину, приводящуюся во вращение от коронной шестерни планетарного редуктора, а в напорной магистрали гидрообъемной машины установлен дроссель. Данная схема позволяет решать проблемы, имеющиеся у предыдущих механизмов [6], принципиальная схема предлагаемого вала отбора мощности представлена на рис. 4. Таким образом, применение в напорной магистрали гидрообъемной машины дросселя позволяет управлять включением вала отбора мощности, а также бесступенчато изменять частоту вращения вала отбора мощности.

Механизм привода вала отбора мощности включает: планетарный редуктор 1, гидрообъемная машина 2, дроссель 3, вал отбора мощности 4, водило планетарного редуктора 5, солнечная шестерня планетарного редуктора 6, сателлиты планетарного редуктора 7, коронная шестерня планетарного редуктора 8, блок управления работой механизма 9, органы управления 10.

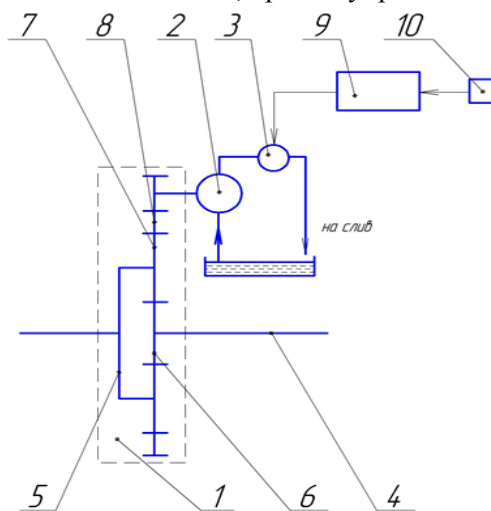


Рис. 4. Схема механизма привода вала отбора мощности

1 – планетарный редуктор; 2 – гидрообъемная машина; 3 – дроссель; 4 – вал отбора мощности; 5 – водило планетарного редуктора; 6 – солнечная шестерня планетарного редуктора; 7 – сателлиты планетарного редуктора; 8 – коронная шестерня планетарного редуктора; 9 – блок управления работой механизма; 10 – органы управления

Механизм привода вала отбора мощности мобильных энергетических средств работает следующим образом: при включенном вале отбора мощности 4 (вращение на вал отбора мощности передается) сигнал от органов управления 10 подается на блок управления 9, после чего блок управления 9 подает сигнал на дроссель 3 и дроссель 3 перекрывает напорную магистраль гидравлического мотора 2 и гидравлический мотор затормаживается, тогда передача вращения от двигателя осуществляется следующим образом: вращение передается на водило 5, сателлиты 7 обогая неподвижную коронную шестерню 8 передают вращение на солнечную шестерню 6 а, следовательно, и на вал отбора мощности 4.

Управляя посредством органов управления 10 и блока управления 9 степенью открытия дросселя 3, находящегося в напорной магистрали гидравлического мотора 2, изменяется блокировка гидравлического мотора 2, а следовательно, и частота вращения вала отбора мощности 4 по заданному блоку управления 9 закону.

Заключение

Преимуществами данного механизма привода вала отбора мощности является управление включением ВОМ, что обеспечит снижение нагруженности привода ВОМ, также отсутствие пар трения в механизме включения, что повышает надежность механизма в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беларусь 892/892.2 Руководство по эксплуатации. 892-000010Б РЭ; гл. редактор Стасилевич А. Г. ОАО «Минский тракторный завод». – Минск, 2014. – 313 с.
2. Беларусь 1523/1522В/1523.3/1523В.3 Руководство по эксплуатации. 1523-000010 РЭ; отв. редактор Усс И. Н. РУП «Минский тракторный завод». – Минск, 2009. – 299 с.
3. Отчет по этапу АТС-02.01.12 «Разработать методику проведения испытаний и выполнить расчет ВОМ трактора мощностью 100...150 л.с.» государственной научно-технической программы «Белавтотракторостроение». – Минск, 2005. – 437 с.
4. Официальный сайт Fendt. – Режим доступа: <https://www.fendt.com/ru/traktory/1000-vario-variodrive>. – Дата доступа: 27.09.2021.
5. One Possibility to increase Application range for Hydrostatic transmissions by using planetary gears. Erkkilä M., Huhtala K., Virvalo T, Vilenius M. Tampere University of Technology Institute of Hydraulics and Automation. The Eighth Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP'03, May 7-9, 2003, Tampere, Finland.
6. Механизм привода вала отбора мощности энергетических средств: пат. 2344 Респ. Беларусь, МПК В 60 К 17/28/ М. А. Салонский, Д. Г. Лопух, заявитель Белорусский государственный аграрный технический ун-т. – № u 20050291: заявл. 23.05.2005; опубл. 30.12.2005 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. Уласнасці. – 2005 – № 4. – С. 29.