



КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА КОМПАКТНОГО МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ГИДРОТРАНСФОРМАТОРА ДЛЯ ТИХОХОДНЫХ МАШИН

В статье представлено кинематическое описание схемы и функциональное описание многофункционального гидротрансформатора, который может использоваться в самоходных тихоходных машинах. Отличительной особенностью предлагаемой кинематической схемы является максимальное использование возможностей автотракторных гидротрансформаторов. Предлагаются схематические решения для гидромеханической передачи с одноступенчатым гидротрансформатором без многоступенчатой коробки передач.

Тихоходная машина, кинематическая схема, трансмиссия, гидромеханическая передача, гидротрансформатор.

В настоящее время в трансмиссиях многих тихоходных колесных и гусеничных машин с ДВС применяются гидромеханические передачи (ГМП), которые содержат последовательно соединенные гидродинамический трансформатор вращающего момента (далее – гидротрансформатор) и механическую ступенчатую коробку передач с гидравлическим управлением [1]. Положительные свойства гидротрансформаторов наиболее полно проявляются в транспортных и технологических машинах, работающих с переменными нагрузками в неблагоприятных дорожных условиях и вне дорог. ГМП обеспечивают передачу больших потоков энергии, высокую производительность машин, легкое и удобное управление трансмиссией со стороны оператора [2]. В связи с ростом выпуска погрузочно-транспортных и строительно-дорожных машин соответственно возрастает и объем производства гидротрансформаторов и ГМП для этого вида техники.

Общим недостатком автотракторных ГМП является относительно небольшой диапазон бесступенчатого регулирования вращающего момента двигателя, обусловленный ограниченными преобразующими свойствами серийных одноступенчатых гидротрансформаторов с тремя или четырьмя рабочими колесами. Коэффициент трансформации вращающего момента для таких гидротрансформаторов обычно находится в диапазоне 2–3. Классические трехколесные гидротрансформаторы комплексного типа характеризуются простотой конструкции и низкой стоимостью, и поэтому широко применяются, несмотря на свои недостатки. Чтобы компенсировать недостаточные преобразующие свойства одноступенчатых гидротрансформаторов при проектировании коробок передач для ГМП, конструкторам приходится увеличивать число механических ступеней [3]. Однако увеличение количества ступеней в коробках передач ГМП имеет свои разумные пределы. Усложняется механическая часть коробок передач, пропорционально усложняется система управления трансмиссией, ухудшается коэффициент полезного действия (КПД) трансмиссии вследствие увеличения отбора мощности двигателя на осуществление функций управления [4].

Одним из способов повышения эффективности ГМП является использование режима обратного (относительно направления вращения насосного и турбинного колес) вращения реактора гидротрансформатора. В традиционных комплексных гидротрансформаторах на режиме трансформации вращающего момента реактор неподвижен и свободно вращается в потоке рабочей жидкости в направлении вращения насосного и турбинного колес на режиме гидромукты.

Первым техническим решением по практическому использованию обратного вращения реактора гидротрансформатора стало изобретение инженера Карла Густава Ахлена (Karl Gustav Ahlen) из шведской компании Svenska Rotor Maskiner AB (SRM). В передачах SRM были реализованы различные конструкции гидротрансформаторов и управляющих устройств, ориентированные на достижение высоких эксплуатационных свойств самоходных машин [5]. ГМП SRM предназначалась для тяжелых грузовых автомобилей и тягачей – они неоднократно были рассмотрены в отечественной технической литературе.

В ГМП SRM реактор гидротрансформатора через планетарную передачу соединен с выходным валом ГМП и при низких угловых скоростях турбинного колеса вращается в сторону, обратную вращению насосного колеса. Такой режим работы гидротрансформатора позволяет получить большой вращающий момент на турбинном колесе в зоне малых передаточных отношений гидротрансформатора (от 0 до 0,4). Вращающийся в обратную сторону реактор гидротрансформатора ГМП SRM подобен еще одному турбинному колесу гидротрансформатора, вращающий момент от которого суммируется с моментом главного турбинного колеса с помощью планетарного механизма на ведомом валу. В результате в диапазоне малых передаточных отношений гидротрансформатора вращающий момент двигателя резко увеличивается в 8–10 раз.

Вторым способом использования обратного вращения реактора в автотракторном гидротрансформаторе является осуществление режима заднего хода в трансмиссии самоходной машины. Если в гидродинамическом трансформаторе остановить турбинное ко-

лесо и одновременно освободить реактор, то реактор будет вращаться в сторону, противоположную направлению вращения насосного колеса. В этом случае неподвижное турбинное колесо играет роль реактора, вращающийся реактор – турбинного колеса. Однако при этом коэффициент трансформации вращающего момента уменьшается на единицу. В частности, такой эффект был использован в ГМП легкового автомобиля Buick Special. Аналогичное решение было реализовано и в ГМП компании Маск для городских автобусов. Поскольку режим заднего хода для большинства самоходных машин является непродолжительным, то кратковременное инвертирование функций турбинного колеса и реактора в гидротрансформаторе может дать положительный эффект и для ГМП колесных погрузчиков.

На рисунках 1 и 2 представлены принципиальные кинематические схемы двух вариантов исполнения ГМП для трансмиссии самоходной машины, в которой обратное вращение реактора гидротрансформатора используется на режимах и переднего, и заднего ходов, а также на режиме динамического торможения [6, 7]. В рассматриваемой ГМП возможно использование унифицированных трехколесных и четырехколесных одноступенчатых комплексных гидротрансформаторов с литыми рабочими колесами, например гидротрансформаторы типа ГТ-390, ГТ-543 и другие аналогичные.

Указанные комплексные гидротрансформаторы имеют насосное колесо центробежного типа и турбинное колесо центростремительного типа, обеспечивающие эффективную работу на режиме гидромукты. Четырехколесные унифицированные гидротрансформаторы типа ЛГ и ГТ применяются в ГМП городских автобусов, карьерных самосвалов, колесных ковшевых и вилочных погрузчиков, автогрейдеров, тракторов и бульдозеров, самоходных скреперов, маневровых тепловозов и других машин специального назначения.

Первый вариант кинематической схемы (рис. 1) предусматривает несоосное соединение двигателя и ГМП, а сопряжение ГМП с последующими агрегатами трансмиссии является соосным. Альтернативная принципиальная кинематическая схема ГМП (рис. 2) предусматривает соосное сопряжение двигателя и ГМП и несоосное сопряжение с последующими агрегатами трансмиссии. Выходной вал ГМП в трансмиссии полноприводной колесной машины соединяется, как правило, с раздаточной коробкой.

Независимо от варианта исполнения ГМП содержит размещенные в корпусе 1 одноступенчатый гидротрансформатор 2 с реактором 3 зависимого вращения. Насос 4 и турбина гидротрансформатора соединены соответственно с входным валом 6 и выходным валом 7.

ГМП содержит также трехзвенный планетарный механизм 8, содержащий водило 9 с сателлитами 10, солнечную шестерню 11 и коронную шестерню 12. Реактор 3 при помощи полого вала 13 соединяется с солнечной шестерней 11. Для управления ГМП предназначены четыре тормоза 14, 15, 16, 17 и три управляемые сцепные муфты 18, 19, 20. Тормоз 15 останавливает вал 13, тормоз 17 останавливает коронную шестерню 12, тормоз 14 останавливает турбинное колесо 2, а тормоз 19 – водило 9. Муфта 18 соединяет турбинное колесо 5 с выходным валом 7, муфта 19 соединяет с водилом 9 турбинное колесо 5, а муфта 20 соединяет коронную шестерню 12 с выходным валом 7. Реакторное колесо 3 соединяется с валом 13 посредством механизма свободного хода 21. В случае использования трехколесного гидротрансформатора реактор 22 и соответствующий ему механизм свободного хода 23 отсутствуют. Муфта 24 предназначена для блокировки гидротрансформатора. В исходном состоянии ГМП все тормоза выключены, а муфты разомкнуты.

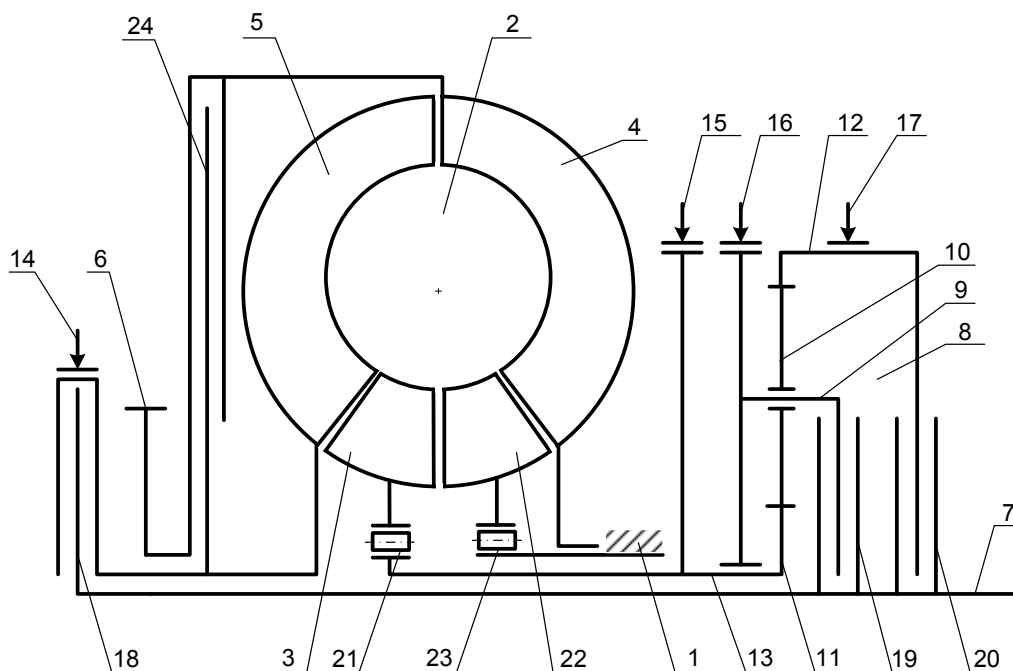


Рис. 1. Принципиальная кинематическая схема первого варианта ГМП

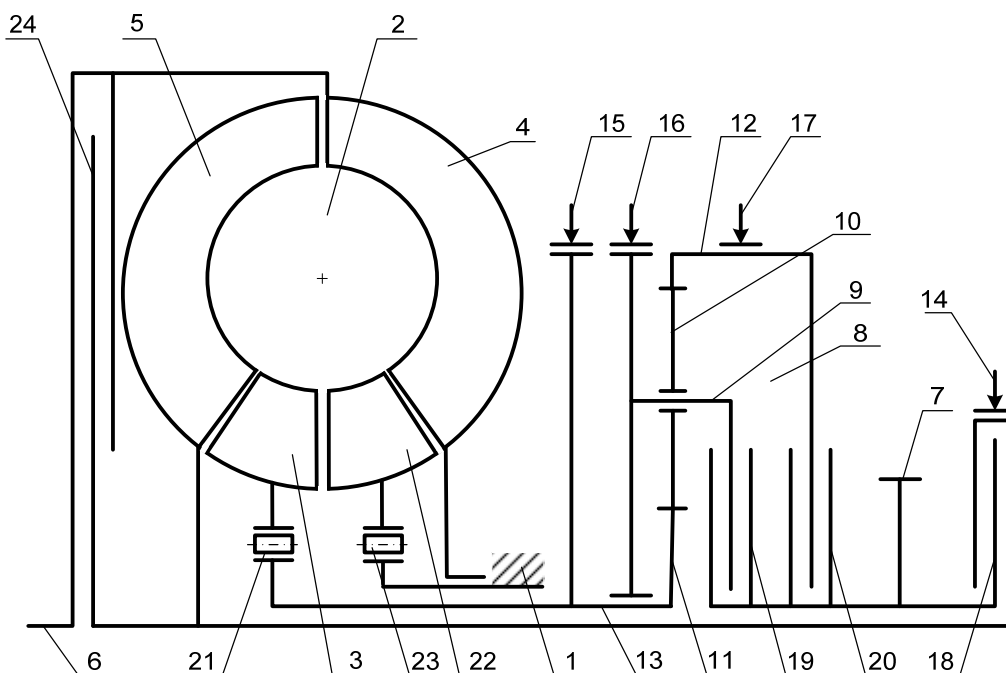


Рис. 2. Принципиальная кинематическая схема второго варианта ГМП

На первом режиме переднего хода включен тормоз 16 и водило 9 остановлено. Тормоза 14, 15 и 17 выключены. Муфты 18 и 20 включены, муфта 19 выключена. Турбина 5 через муфту 18 приводит во вращение выходной вал 7, который через муфту 20 соединен также с коронной шестерней 12. Планетарный механизм работает как передача заднего хода с неподвижным водилом. Дополнительный вращающий момент от вращающегося реактора 3 через шестерни 11, 10, 12 поступает на выходной вал 7 и суммируется с вращающим моментом, поступающим от турбины 5. Этот режим движения самоходной машины имеет место в диапазоне передаточных отношений гидротрансформатора от 0 до 0,4. Его можно сравнить с включением понижающей передачи в механической коробке передач.

На втором режиме переднего хода тормоза 14, 16, 17 выключены, а тормоз 15 включен, останавливая при этом вал 13. Муфта 18 включена, а муфты 19 и 20 выключены. Турбина 4 через муфту 18 вращает выходной вал 7. На этом режиме планетарный механизм 8 участие в работе ГМП не принимает, а передача всего вращающего момента осуществляется только через гидротрансформатор. Гидротрансформатор может быть оснащен блокирующей муфтой 24, соединяющей между собой насосное и турбинное колеса 4 и 5 с целью повышения КПД трансмиссии при установившемся движении самоходной машины в хороших дорожных условиях.

На режиме заднего хода включены тормоза 14 и 17, останавливающие соответственно турбинное колесо 4 и коронную шестерню 11. Тормоза 16 и 17 выключены. Муфта 19 включена, муфты 18 и 20 выключены. Реактор 3 при этом вращается в сторону, обратную стороне вращения насосного колеса 4, и через вал 13 приводит во вращение солнечную шестерню 11. Планетарный механизм при остановленной коронной шестерне на этом режиме работает как понижающая передача прямого хода, компенсируя умень-

шение коэффициента трансформации гидротрансформатора при обратном ходе на 1. Водило 9 передает обратное вращение от солнечной шестерни 11 на выходной вал 7 через включенную муфту 19. Неподвижная турбина 5 и неподвижная коронная шестерня 12 отключены от выходного вала 7 посредством отключенных муфт 18 и 20 соответственно.

Режим динамического тормоза осуществляется при включенных сцепных муфтах 18 и 19, муфта 20 при этом выключена. Тормоз 17 включен, а тормоза 14, 15 и 16 выключены. Планетарный механизм 8 в этом случае работает как повышающий редуктор, ведущим звеном которого является водило 9, ведомым звеном – солнечная шестерня 11, а неподвижным звеном – коронная шестерня 12. Солнечная шестерня 11 через вал 13 и заклиненную муфту свободного хода 21 приводит во вращение реактор 3. Выходящий из турбины 5 поток рабочей жидкости и реактор 3 имеют противоположные направления движения, что создает тормозной момент на выходном валу 7.

При одновременном попарном включении сцепных муфт 18, 19, 20 и соответствующих им тормозов 14, 15, 16 (либо всех указанных сцепных муфт и тормозов одновременно) осуществляется режим торможения выходного вала 7 и, соответственно, самоходной машины.

Для включения режимов переднего и заднего хода гидромеханической передачи, а также автоматического переключения тормозов и сцепных муфт в процессе движения машины используется гидравлическая система. Режим принудительного включения понижающей передачи может быть автоматизирован в зависимости от величины вращающего момента, возникающего на неподвижном реакторе 22. При длительном и установившемся движении самоходной машины в хороших дорожных условиях с целью повышения КПД трансмиссии гидротрансформатор может быть заблокирован с помощью муфты 24.

Таблица состояний элементов управления ГМП

Режим работы	Тормоз 14	Тормоз 15	Тормоз 16	Тормоз 17	Муфта 18	Муфта 19	Муфта 20
Передний ход I	–	–	+	–	+	–	+
Передний ход II	–	+	–	–	+	–	–
Задний ход	+	–	–	+	–	+	–
Динамическое торможение	–	–	–	+	+	+	–

В таблице приведены состояния элементов управления ГМП. Знак «+» обозначает включенное состояние соответствующей муфты или тормоза, а знак «–» – выключенное состояние. Таким образом, рассматриваемая ГМП представляет собой механизм с четырьмя степенями свободы, требующий одновременного включения трех элементов управления.

Схематехника рассматриваемых ГМП сочетает в себе свойства и однопоточных, и двухпоточных передач. Двухпоточный режим проявляется при обратном вращении реактора вследствие разделения потока мощности внутри гидротрансформатора; при этом имеют место повышенные значения коэффициента трансформации и КПД передачи в диапазоне малых передаточных отношений, когда трансмиссия самоходной машины испытывает высокие нагрузки (например, при заборе грунта ковшом погрузчика). Однопоточная работа ГМП происходит в условиях относительно невысоких нагрузок на трансмиссию самоходной машины, когда на режиме переднего хода реактор гидротрансформатора неподвижен, а также на режиме заднего хода. При однопоточной работе ГМП на режиме переднего хода повышенные значения КПД достигаются в диапазоне больших передаточных отношений. Как результат, комбинирование режимов работы ГМП способствует повышению среднего КПД трансмиссии самоходной машины по сравнению с трансмиссией, оснащенной традиционной ГМП с одноступенчатым гидротрансформатором, обеспечивая при этом высокие преобразующие свойства в зоне малых передаточных отношений.

По сравнению с базовыми ГМП, оснащенными одноступенчатыми гидротрансформаторами одинакового типоразмера, рассматриваемая передача имеет более компактную конструкцию. При этом максимальное значение коэффициента трансформации вращающего момента двигателя при нулевом передаточном отношении больше максимального коэффици-

ента трансформации исходного четырехколесного гидротрансформатора. Практическая реализация предлагаемого проекта позволит расширить эксплуатационные возможности самоходной машины, а также упростить ее трансмиссию в целом за счет более полного использования возможностей гидротрансформатора и планетарного механизма на всех режимах работы ГМП.

Литература

1. Микнас, В. Автомобильные сцепления, трансмиссии, приводы / В. Микнас, Р. Попиоль, А. Шпренгер. – Москва : ООО Книжное издательство За рулем, 2012. – 351 с.
2. Базанов, А. Ф. Самоходные погрузчики / А. Ф. Базанов, Г. В. Забегалов – Москва : Машиностроение, 1979. – 416 с.
3. Трансмиссии гусеничных и колесных машин / В. М. Труханов [и др.]. – Москва : Машиностроение, 2001. – 736 с.
4. Трушин, Н. Н. Конструкторско-технологические тренды в коммерческом автотранспорте / Н. Н. Трушин // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях. – Белгород : БГТУ, 2019. – С. 282–288.
5. Патент № 2935898. Hydraulic torque converters : опубл. 10.05.1960 / AhlenK. G ; заявитель Svenska Rotor Maskener Ab.
6. Патент № 1756179 СССР. Гидромеханическая передача транспортного средства : заявл. 09.08.1990 : опубл. : 23.08.1992, бюл. № 31 / Трушин Н. Н., Стебловский К. Д ; заявитель и патентообладатель Тульский политехнический институт.
7. Патент № 2695471 Российская Федерация. Гидромеханическая передача транспортного средства : заявл. 28.06.2018 : опубл. 23.07.2019, бюл. № 21 / Трушин Н. Н. ; заявитель и патентообладатель ТулГУ.

A.V. Plyasov, N.N. Trushin

KINEMATIC DIAGRAM OF A COMPACT MULTIFUNCTIONAL HYDRAULIC TRANSFORMER FOR LOW-SPEED VEHICLES

The article provides a description of the kinematic scheme and a functional description of the multifunctional torque converter which can be used in self-propelled low-speed vehicles. A distinctive feature of the proposed kinematic scheme is the maximum use of the capabilities of autotractor torque converters. Circuitry solutions for hydromechanical transmission with a single-stage torque converter without a multi-stage gearbox are proposed.

Low-speed vehicle, kinematic scheme, transmission, hydromechanical transmission, torque converter.