

Сравнительные характеристики гидромеханических трансмиссий для железнодорожных мотовозов

Comparative descriptions of hydromechanical transmissions for railway movable platform

В. Б. Самородов, д-р техн. наук

Харьковский национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина,

Г. А. Аврунин, канд. техн. наук,

С. Г. Ковалевский, канд. техн. наук, **И. И. Мороз**

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков, Украина

Цель. Сравнение технических характеристик гидромеханических трансмиссий для железнодорожных мотовозов на основе гидродинамического комплексного гидротрансформатора модели ГП-300 и двухпоточной на основе объемного гидропривода с машинным бесступенчатым регулированием скорости гидромотора модели ГОМТ-ГТБ с целью оценки перспективности применения последней в отечественных мотовозах.

Метод. Анализ конструктивных и компоновочных особенностей трансмиссий мощностью 220 и 330 кВт, систем обеспечения функционирования и реализации режимов работы при трогании с места, маневрировании и движении на максимальной скорости, в том числе с выбором режимов энергосбережения. Сравнение по относительному показателю отношения массы трансмиссии к мощности приводящего двигателя внутреннего сгорания.

Результаты. Показано, что двухпоточная объемно-гидромеханическая трансмиссия модели ГОМТ-ГТБ, установленная на мотовозе МТ-1 львовской фирмы «Крокус», отличается возможностью работы с высоким КПД в полном диапазоне скорости движения мотовоза с помощью регулирования рабочего объема насоса, в том числе на нижнем пределе регулирования без введения дополнительных систем ходоуменьшения, как это требует трансмиссия с гидротрансформатором.

Заключение. Результаты отечественных разработок и накопленный положительный опыт в области двухпоточных трансмиссий для мотовозов и колесных сельскохозяйственных тракторов могут более широко использоваться при ремонте импортных трансмиссий и создании новых. В качестве гидромашины для комплектации объемного гидропривода могут использоваться аксиальнопрошневые насосы и гидромоторы украинского производства, обеспечивая передачу мощности до 300 кВт.

Ключевые слова: железнодорожный мотовоз, гидромеханическая трансмиссия, гидротрансформатор, объемный гидропривод, планетарная коробка передач, КПД, мощность, ходоуменьшитель

Введение

Для эксплуатации железных дорог широко используются мотовозы, оснащенные гидромеханическими трансмиссиями с комплексными гидротрансформаторами в качестве преобразователя крутящего момента и частоты вращения выходного вала. В Украине такие трансмиссии не выпускаются и поэтому возникает проблема обеспечения ремонта и закупки для них комплектующих. В тоже время в последние годы получили распространение двухпоточные гидромеханические трансмиссии с обеспечением бесступенчатого регулирования частоты вращения и крутящего момента путем использования в параллельном потоке мощности объемного гидропривода, и получившие сокращенное название ГОМТ. Областью применения двухпоточных трансмиссий стали сельскохозяйственные и промышленные тракторы, строительно-дорожные и военные машины. К основным преимуществам двухпоточных трансмиссий ГОМТ относят бесступенчатое регулирование скорости транспортного средства, создание высоких тяговых усилий в зоне минимальных (ползучих) скоростей передвижения и в то же время получение высокого КПД при движении на транспортных (максимальных) скоростях благодаря использованию планетарных коробок передач с минимальным уровнем потерь мощности. В настоящее время накоплен опыт создания ГОМТ конструкторами ГП ХКБМ им. А. А. Морозова для железнодорожного технологического мотовоза МТ-1 львовской фирмы «Крокус» и учеными ХНТУ «Харьковский политехнический институт» для колесных тракторов ХТЗ. Положительные результаты испытаний двухпоточных объемно-гидромеханических трансмиссий являются основанием для проведения сравнительного анализа гидромеханических трансмиссий и оценки перспективности их дальнейшего использования.

Основная часть

В технической литературе приведены теоретические основы создания двухпоточных трансмиссий и опыт их использования в тракторах зарубежных фирм [1; 2]. Характеристики гидромеханической трансмиссии ГП-300 с комплексным гидротрансформатором для мотовозов МПТ-6 массой 28,5 т приведены в работе [3]. В работах [4, 5] приведены сведения о конструкции и дан анализ работы двухпоточной трансмиссии ГОМТ мотовоза модели МТ-1 «Крокус» (сокращенное название: ГТБ — двухпоточный гидромеханический трансмиссионный блок), а также приведены значения изменения КПД и давления в объемном гидроприводе на различных скоростных и тяговых режимах работы. Там же приведены основные результаты натурных испытаний мотовоза МТ-1. Методика статического расчета объемного гидропривода и выбора рабочих объемов гидромашин для мотовоза МТ-1 приведена в работе [6]. Результаты стендовых испытаний аксиальнопоршневых гидромашин — насоса с регулируемым рабочим объемом и гидромотора с постоянным рабочим объемом, которые предшествовали сборке двухпоточной трансмиссии ГОМТ-ГТБ, приведены в работе [7]. Представляет интерес сопоставление некоторых технических и компоновочных характеристик трансмиссий в мотовозах моделей МПТ-6 и МТ-1 с целью оценки возможности перехода на двухпоточные трансмиссии отечественного производства. На рисунке 1 показаны общие виды рассматриваемых мотовозов.

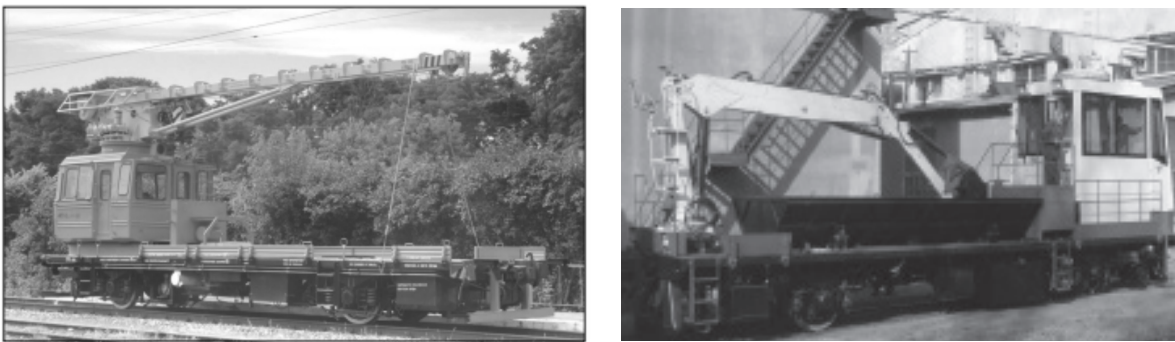


Рисунок 1 — Мотовозы МПТ-6 (а) и украинского производства МТ-1 «Крокус» (б)

На рисунке 2 представлены структурные схемы гидромеханических передач мотовозов. Гидропередача ГП-300 [3] с комплексным гидротрансформатором ГТК для мотовоза МПТ-6 (рисунок 2, а) включает приводящий двигатель ДВС, планетарную коробку передач ПКП-ГП, коробку отбора мощности КОМ, шестеренный насос Н1 системы смазки, управления и охлаждения (НШ50А-4) и объемного гидропривода ходоуменьшителя, включающий регулируемый аксиальнопоршневой насос Н2 модели ВМИЖ 063.234.016 и радиальнопоршневой гидромотор однократного действия М1 модели МРФ-400/25М1 или планетарнороторный модели ГПР-630. Необходимость использования в качестве дополнительного привода для ходоуменьшителя (в данной конструкции объемного гидропривода) обусловлена тем, что гидротрансформатор не обеспечивает скорость мотовоза порядка 2 км/ч.

Двухпоточная трансмиссия ГОМТ-ГТБ для мотовоза МТ-1 «Крокус» (рисунок 2, б) включает аксиальнопоршневые насос Н3 с регулируемым рабочим объемом и гидромотор М2 с постоянным рабочим объемом, планетарную коробку передач ПКП-ГОМТ, коробку отбора мощности КОМ-ГОМТ, шестеренные насосы Н4 управления и смазки узлов трения, и Н5 откачки рабочей жидкости из корпуса ГОМТ. Объемный гидропривод имеет замкнутую цепь циркуляции рабочей жидкости. При его работе в полном потоке мощности обеспечиваются страгивание с места и низкие скорости мотовоза путем уменьшения частоты вращения гидромотора М2 до 200 мин⁻¹, что соответствует скорости передвижения мотовоза в 2 км/ч. Дальнейшее увеличение частоты вращения гидромотора М2 до 2100 мин⁻¹ в сочетании с устанавливаемым диапазоном в планетарной коробке передач ПКП-ГОМТ обеспечивает скорость мотовоза МТ-1 до 100 км/ч

Таким образом, в трансмиссии с ГОМТ объемный гидропривод реализует полный диапазон скоростей, а в трансмиссии ГП-300 с ГТК необходимо устанавливать дополнительно объемный гидропривод ходоуменьшителя. Основные технические характеристики гидромеханических передач для мотовозов МПТ-6 и МТ1 приведены в таблице 1. Отметим, что удельный показатель мощности трансмиссии ГОМТ-ГТБ ниже на 73 %, чем в ГМП-300 (3,6 и 5 кг/кВт, соответственно). Назначение тонкости фильтрации рабочей жидкости в 40 мкм для ГП-300 выглядит явно недостаточным, так как для шестеренных насосов требуется не более 25 мкм. Для мотовоза МТ-1 назначение тонкости фильтрации в 10 мкм обусловлено требованиями производителей гидрораспределителей.

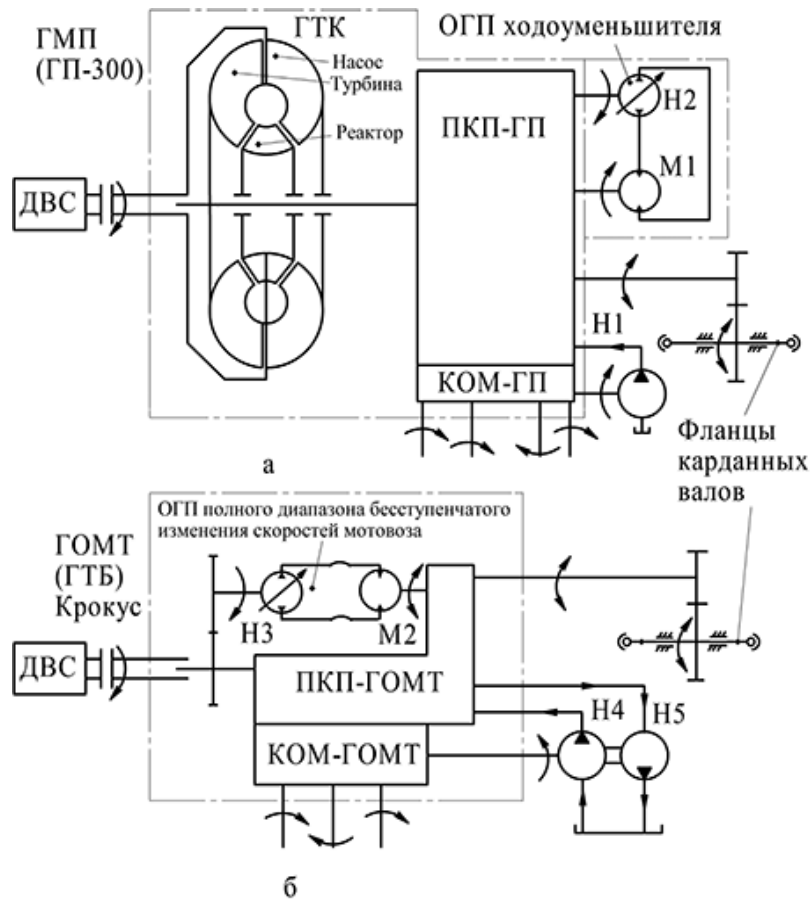


Рисунок 2 — Структурные схемы гидромеханических передач ГМП (ГП-300) с гидротрансформатором (а) и ГОМТ с объемным гидроприводом (б)

Таблица 1 — Характеристики гидромеханических передач мотовозов

Наименование параметра, размерность	Железнодорожные мотовозы	
	МПТ-6 (РФ)	МТ-1(Украина)
Масса мотовоза, т	28,5	39
Максимальная скорость, км/ч	100+10	100
Двигатель	ЯМЗ 238Б	«DEUTZ»
Мощность / частота вращения ДВС, мин^{-1}	220/2000	330/2100
Тип трансмиссии	ГП-300	ГОМТ-ГТБ
Преобразователь крутящего момента	ГТК	ОГП
Максимальный крут. момент на выходе, кН	—	14
КПД трансмиссии, максимальный	0,92	0,92
Масса трансмиссии (без рабочей жидкости), кг	1100	1200*
Масса трансмиссии / мощность ДВС, кг/кВт	5,0	3,63
Рабочая жидкость марки ATF...	«А» (И-20А)	200 «А» Mobil
Давление управления/смазки, подпитки, МПа	1,2/0,2/0,4	1,6/0,25
Подача насоса управления и смазки, л/мин	100	66
Тонкость фильтрации рабочей жидкости, мкм	40	10

Примечания: *) в комплекте с насосом (202 кг) и гидромотором (110 кг).

Функциональное назначение узлов ГМП-300 (рисунок 3) [3]:

- входной редуктор предназначен для согласования характеристик ДВС и гидротрансформатора ГТК и передачи крутящего момента от ДВС на насосное колесо. Редуктор состоит из зубчатых колес К1 и К2 постоянного зацепления;
- гидротрансформатор ГТК предназначен для преобразования крутящего момента в зависимости от нагрузки на турбинном колесе;
- коробка передач предназначена для ступенчатого изменения передаточного числа и обеспечения изменения направления вращения грузового вала (обеспечение переднего и заднего хода мотовоза). Коробка передач включает в себя механический планетарный редуктор с фрикционными узлами Т1, Т2 и Ф3, перекидной вал с зубчатыми колесами К6 и К7, грузовой вал с зубчатыми колесами К9 и К10 и механизмом реверса;
- редуктор отбора мощности предназначен для передачи мощности двигателя на ходоуменьшитель и вспомогательные агрегаты (компрессор, электрогенератор, аксиальнопоршневой насос высокого давления 310.56), обеспечивающие работу технологического оборудования, и включает в себя зубчатые колеса К3, К4 и К5. Колесо К3 жестко закреплено на входном валу и с ним в постоянном зацеплении находятся зубчатое колесо К4, жестко закрепленное на валу привода насоса 310.56 и насоса ходоуменьшителя, а также зубчатое колесо К5, жестко закрепленное на валу привода генератора и компрессора.

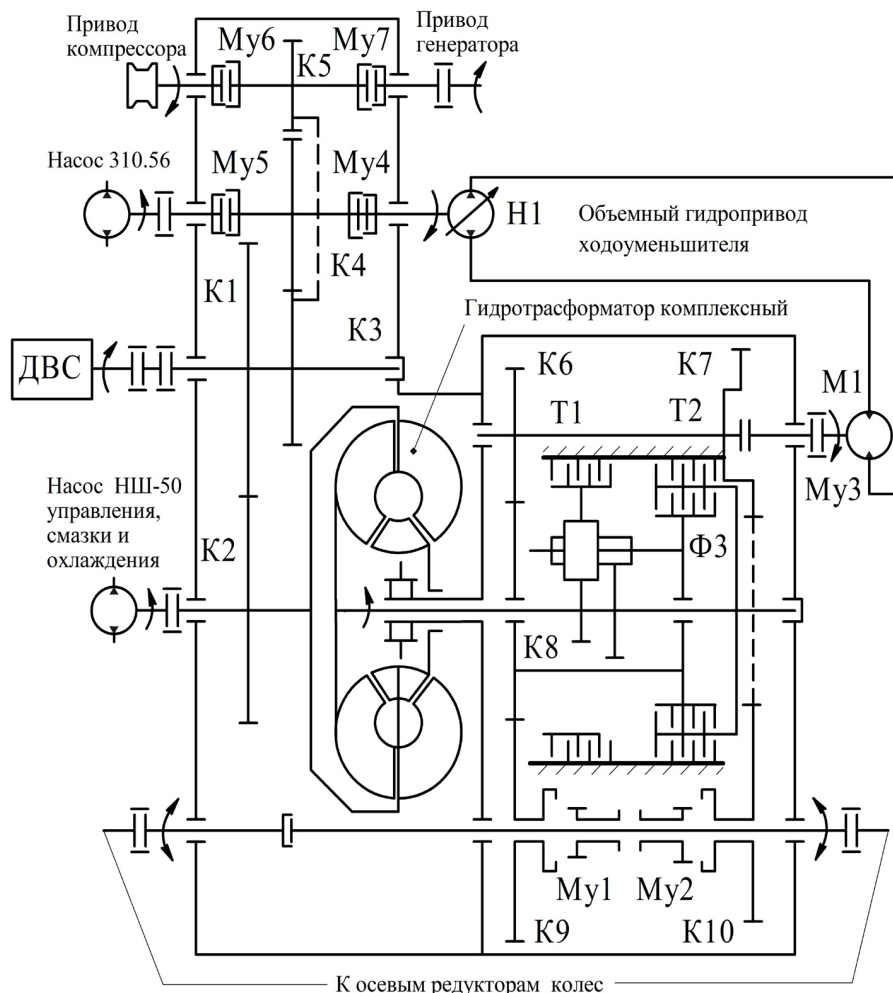


Рисунок 3 — Схема гидромеханической передачи ГП-300: К1—К10 — зубчатые колеса; My1—My7 — управляемые зубчатые муфты; Т1, Т2 и Ф3 — фрикционы

На рисунке 4 показана принципиальная кинематическая схема двухпоточной трансмиссии ГОМТ-ГТБ [4], установленной на мотовозе МТ-1. ГТБ включает планетарную коробку передач ПКП, объемный гидропривод

из двух аксиальнопоршневых гидромашин с машинным способом регулирования (насос Н с регулируемым рабочим объемом и гидромотор М с постоянным рабочим объемом), реверсивное устройство РУ с блоком насосов БН управления и откачки рабочей жидкости, и коробку раздаточную РК. С помощью датчиков ДЧВ1 и ДЧВ2 контролируют частоту вращения гидромотора и карданных валов. ГТБ обеспечивает три диапазона — технологический, маневровый и транспортный. Принцип работы ГТБ заключается в реализации особого способа суммирования потоков мощности от ДВС и гидромотора планетарными рядами РУ и ПКП на разных режимах работы.

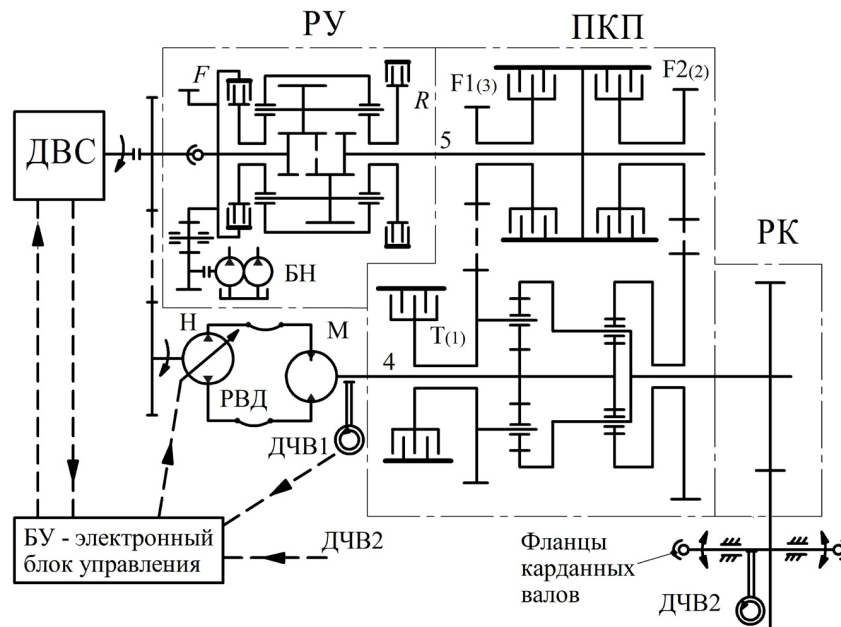


Рисунок 4 — Кинематическая схема двухпоточного ГОМТ-ГТБ мотовоза МТ-1

Реверсивное устройство РУ состоит из 2-х планетарных рядов, двух фрикционов переднего (F) и заднего (R) хода, ПКП выполнена по двухвальной схеме (валы 4 и 5) и состоит из двух планетарных рядов, двух понижающих редукторов и трех фрикционов (1, 2, 3) переключения диапазонов. Переключение диапазонов производится по сигналам от электронного блока управления и регулируется клапанным устройством, обеспечивая давление 1,6 МПа в полости бустеров соответствующих фрикционов реверсивного устройства РУ и ПКП. При этом фрикционы включаются в следующем порядке согласно диапазонам:

- при движении вперед: технологический 1—2; маневровый 2—F и транспортный 3—F;
- при движении назад: технологический 1—2; маневровый 2—R и транспортный 3—R.

Первый скоростной диапазон ГОМТ обеспечивается включением тормозного фрикциона Т и фрикционной муфты F2 и является полнопоточным — в коробку передач мощность от ДВС входит только от объемного гидропривода. Скорость движения мотовоза варьируется в пределах от 0 до 13 км/ч как передним, так и задним ходом. Второй и третий диапазоны — двухпоточные при суммировании мощностей на планетарных рядах от объемного гидропривода и механической ветвей. Выбор настроек системы управления ГОМТ для режимов работы мотовоза осуществляется машинистом путем переключения соответствующего тумблера на рабочем пульте.

Регулировочная характеристика трансмиссии является реверсивной, то есть обеспечивает переход с переднего хода на задний сменой знака параметра регулирования насоса объемного гидропривода без остановки мотовоза и переключений в механической части трансмиссии. Алгоритм управления трансмиссией сформирован с учетом максимально возможного использования двигателя в зоне частот вращения коленвала, соответствующего наибольшему уровню топливной экономичности.

Для двигателя «DEUTZ» мощностью 330 кВт, установленного на МТ-1, рабочий диапазон частот вращения составляет 1400—2100 мин⁻¹. Для объемного гидропривода ГТБ мотовоза выбраны аксиальнопоршневые гидромашин фирмы *Rexroth Bosch Group* — сдвоенный («тандем») насос 2ХА4VG180 с электрогидравлическим пропорциональным регулятором рабочего объема и гидромотор А2FM355 с постоянным рабочим объемом [7].

На рисунке 5 приведен алгоритм работы ДВС и гидромотора объемного гидропривода при движении мотовоза МТ-1 в полном скоростном диапазоне [5].

При скорости мотовоза до 14 км/ч выходной вал ГТБ приводит во вращение только гидромотор объемного гидропривода, обеспечивая максимальные тяговые характеристики. При увеличении скорости от 14 км/ч до 100 км/ч работа объемного гидропривода и планетарной коробки передач ПКП суммируются (ПКП+ОГП). При скорости мотовоза до 56 км/ч достаточной является частота вращения ДВС в 1400 мин⁻¹, при более высокой скорости вплоть до максимальной в 100 км/ч частота вращения ДВС составляет 2100 мин⁻¹.

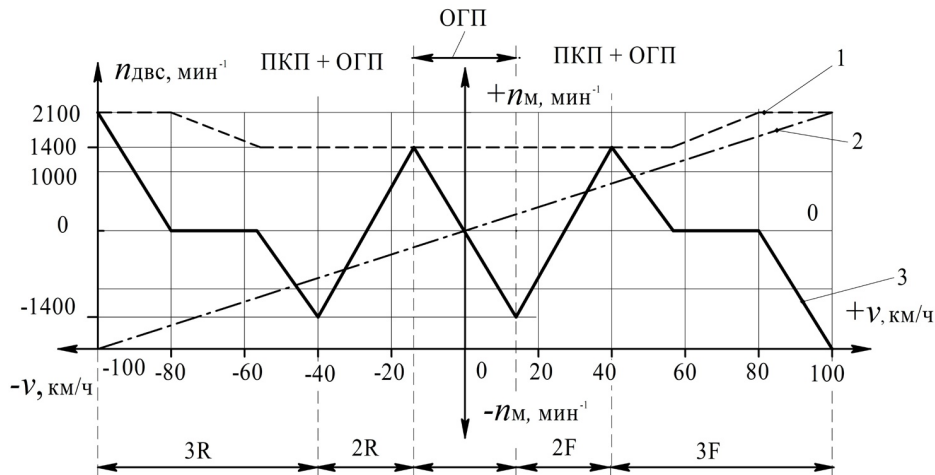


Рисунок 5 — Изменение частоты вращения ДВС (1), скорости мотовоза (2) и частоты и направления вращения вала гидромотора (3) объемного гидропривода ГОМТ

На рисунке 6 изображены расчетные характеристики ГОМТ мотовоза в зависимости от его скорости. Максимальное тяговое усилие развивается на первом диапазоне при работе только объёмного гидропривода и скорость мотовоза может поддерживаться в диапазоне от 0,3 до 10 км/ч при постоянном тяговом усилии, и далее начинается плавное снижение усилия.

Пусковому режиму работы соответствует максимальное давление в объемном гидроприводе до 35 МПа, которое при максимальной скорости мотовоза снижается до 5 МПа. КПД трансмиссии стартует с минимального значения в 72 % и повышается до 92 % на транспортном режиме мотовоза. При этом КПД на переходном режиме со второго на третий диапазон снижается с 92 до 85 %.

Углубленное изучение рабочих параметров ГОМТ на основе матричного анализа с помощью специализированного программного продукта TRANS разработки кафедры «Автомобиле- и тракторостроения» НТУ «ХПИ» [8], позволило оптимизировать работу ГОМТ в составе мотовоза МТ-1. При этом алгоритм управления ГОМТ сформирован с учетом максимально возможного использования ДВС в зоне частот вращения коленвала, соответствующего наибольшему уровню топливной экономичности.

1. Разгон мотовоза МТ-1 в транспортном режиме следует проводить при частоте вращения вала ДВС порядка 1400 мин⁻¹ до скорости 56 км/ч. Переключение диапазонов следует производить при скорости 13 км/ч с первого реверсивного диапазона на второй и при скорости 40 км/ч со второго на третий. В диапазоне скоростей мотовоза от 56 до 80 км/ч вал гидромотора останавливается. Потери в объемном гидроприводе при этом сводятся к минимуму и вся мощность ДВС передается только через механическую часть ГОМТ, обеспечивая ее максимальный КПД до 92%. В указанном интервале движения рост частоты вращения выходного вала ГОМТ и линейной скорости мотовоза обеспечиваются повышением частоты вращения ДВС до ее номинального значения 2100 мин⁻¹. Дальнейший разгон мотовоза от 80 до 100 км/ч обеспечивается соответствующим изменением частоты вращения вала гидромотора от 0 до «минус» 2100 мин⁻¹.

2. На маневровом режиме скорость мотовоза не превышает 40—60 км/ч. Режим движения мотовоза МТ-1 с нагрузкой до 350 т рекомендуется реализовывать на 1-м реверсивном и 2-м диапазонах.

3. В данной кинематической схеме ГОМТ на втором диапазоне в интервале скоростей от 13 до 27 км/ч имеет место циркуляция мощности в замкнутом контуре, образованном механической и гидравлической ветвями трансмиссии [8]. Поэтому не рекомендуется длительная работа в указанном диапазоне скоростей, особенно в интервале 13—17 км/ч.

Результаты расчетов подтверждены в натурном образце мотовоза МТ-1:

- при максимальном тяговом усилии в 65 кН мотовоз может разогнаться до 10 км/ч;
- при тяговом усилии в 20 кН мотовоз может разогнаться до 35 км/ч, что соответствует режиму движения с прицепным составом массой в 360 т на ровном участке пути;
- незагруженный мотовоз может достигать скорости 100 км/ч на ровном участке пути;
- КПД ГОМТ находится в диапазоне 0,73—0,92;
- давление рабочей жидкости в объемном гидроприводе достигает 35—36 МПа при максимальной нагрузке мотовоза, что не превышает предельно допустимого значения в 42 МПа для используемых аксиальнопоршневых гидромашин.

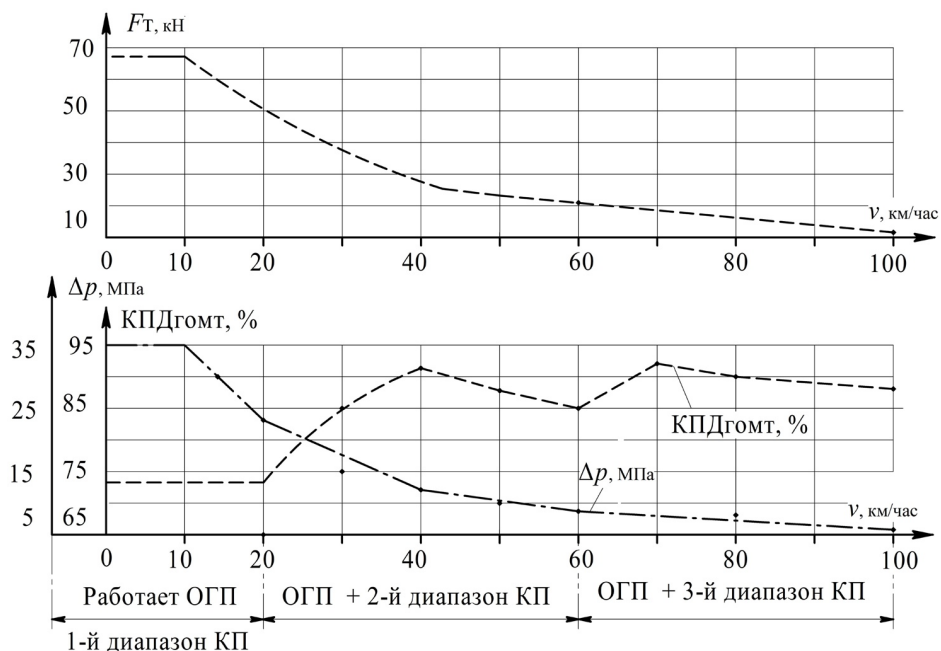


Рисунок 6 — Изменение тягового усилия мотовоза МТ-1, КПД ГОМТ-ГТБ и перепада давлений на гидромоторе объемного гидропривода в зависимости от скорости движения мотовоза (расчетные значения)

Скорость передвижения мотовоза МТ-1 «Крокус» на технологическом режиме ползучих скоростей может варьироваться в широком диапазоне от 2 км/ч до 0,3 км/ч. Предпосылкой достижения таких минимальных частот вращения являются результаты расчетов — скорость мотовоза в 2 км/ч достигается при частоте вращения вала гидромотора 210 мин⁻¹ и развиваемом крутящем моменте в 1900 Н·м при перепаде давлений 35 МПа. При этом выходная мощность гидромотора не превышает 54 кВт при КПД объемного гидропривода 80 %.

Так как для данного типа гидромотора с наклонным блоком цилиндров минимальная устойчивая частота вращения может быть снижена до 30 мин⁻¹, то соответственно, и скорость мотовоза может снизиться до уникально низкого значения в 0,3 км/ч. Причем ходоуменьшение не требует установки дополнительных гидроустройств (насоса и гидромотора) по сравнению с мотовозом МПТ-6.

Рассмотрим системы обеспечения функционирования трансмиссий. Общими задачами здесь являются переключение планетарных передач (фрикционов), смазка узлов трения и охлаждение рабочей жидкости. На рисунке 7 представлена схема объемного гидропривода гидропередачи ГП-300 с насосом Н, гидробаком Б, гидроцилиндрами Ц1 и Ц2, всасывающим Ф1 и напорным Ф2 фильтрами, предохранительно-переливными клапанами КП1 и КП2, гидрораспределителями Р1—Р4, маслоохладителем АТ, дросселями ДР1—ДР3, обратными клапанами КО1—КО3 и манометрами МН1—МН5.

Гидрораспределители Р1 и Р2 имеют электромагнитное управление У1 и У2, и являются пилотными по отношению к Р3 и Р4, с гидравлическим управлением. В оригинальной схеме объемного гидропривода ГП-300 показаны клапаны плавного трогания, которые в данной схеме графически изображены как гидрораспределители Р3 и Р4. При этом встроенные дроссели ДР1 и ДР2 обеспечивают плавное перемещение золотников и, соответственно, увеличение давления в гидроцилиндрах Ц1

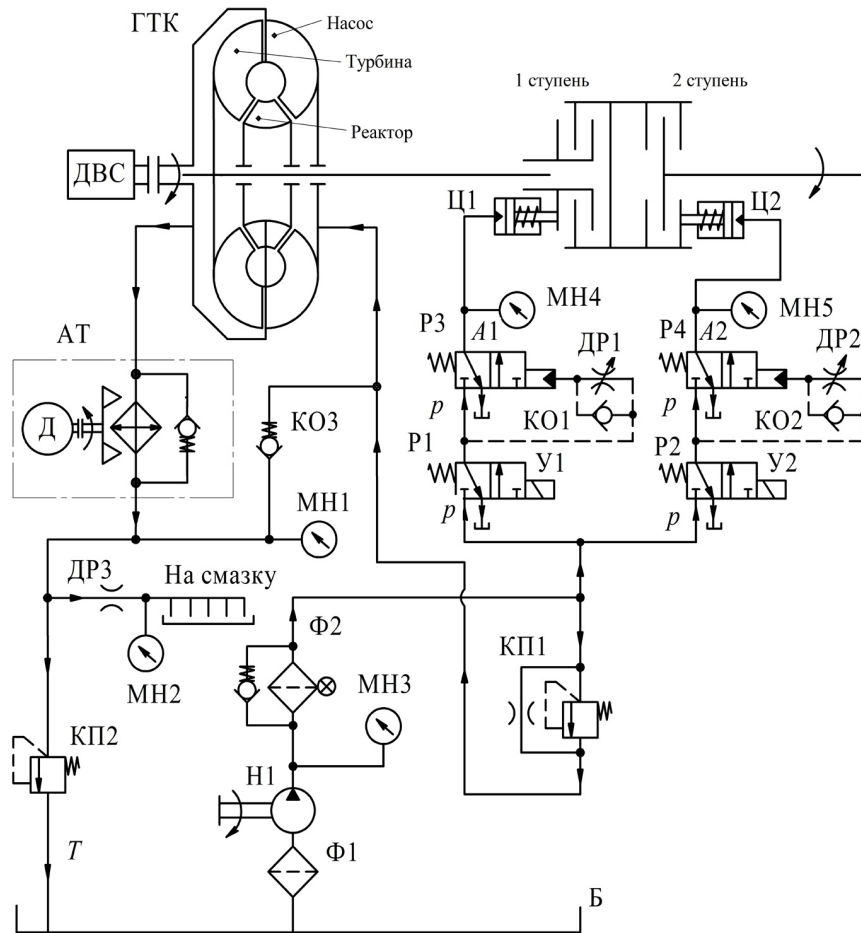


Рисунок 7 — Схема об'ємного гідропривода забезпечення функціонування гідромеханічної гідропередачі ГП-300 мотовоза МПТ-6

или Ц2, а наличие обратных клапанов КО1 и КО2 обеспечивает быстрый сброс давления. Клапан КП1 настроен на давление 1,4 МПа, клапан КП2 на 0,4 МПа.

Гидравлическая принципиальная схема управления коробкой передач ГОМТ-ГТБ мотовоза МТ-1 (рисунок 8) содержит нагнетающий Н1 и откачивающий Н2 насосы, ручной насос Н3 для заправки рабочей жидкости в картер коробки передач, блок А регулирования давления в системе и Блок Б управления фрикционами.

В состав блока А входит двухпозиционный двухлинейный гидрораспределитель с электромагнитным управлением Р1 и два клапана давления КП1 и КП2, сообщенные последовательно. Клапан КП1 выполняет функцию предохранительно-переливного и настроен на давления 1,5 МПа, обеспечивая питание гидрораспределителей Р2—Р6.

Клапан КП2 поддерживает давление рабочей жидкости в 0,2 МПа в системе смазки узлов трения трансмиссии. При подаче питания на электромагнит У1 золотник гидрораспределителя Р1 смещается влево и рабочая жидкость от насоса Н1 под низким давлением сливается в гидробак Б (режим разгрузки насоса, который применяется при откачке рабочей жидкости из гидросистемы или ее прогреве). Контроль давления смазки обеспечивается датчиком давления ПД.

В состав блока Б входят двухпозиционные трехлинейные гидрораспределители Р2—Р6 с электромагнитным управлением.

Кондиционирование рабочей жидкости в гидросистеме осуществляется напорным фильтром Ф1 в линии нагнетания насоса Н1, фильтром Ф2 в линии откачки рабочей жидкости насосом Н2, фильтром Ф3 на всасывании насоса Н2 и фильтром Ф4 на всасывании насоса Н1. Для контроля давления нагнетания установлена контрольная точка давления КТД, с помощью которой подсоединяют манометр без разгерметизации гидросистемы.

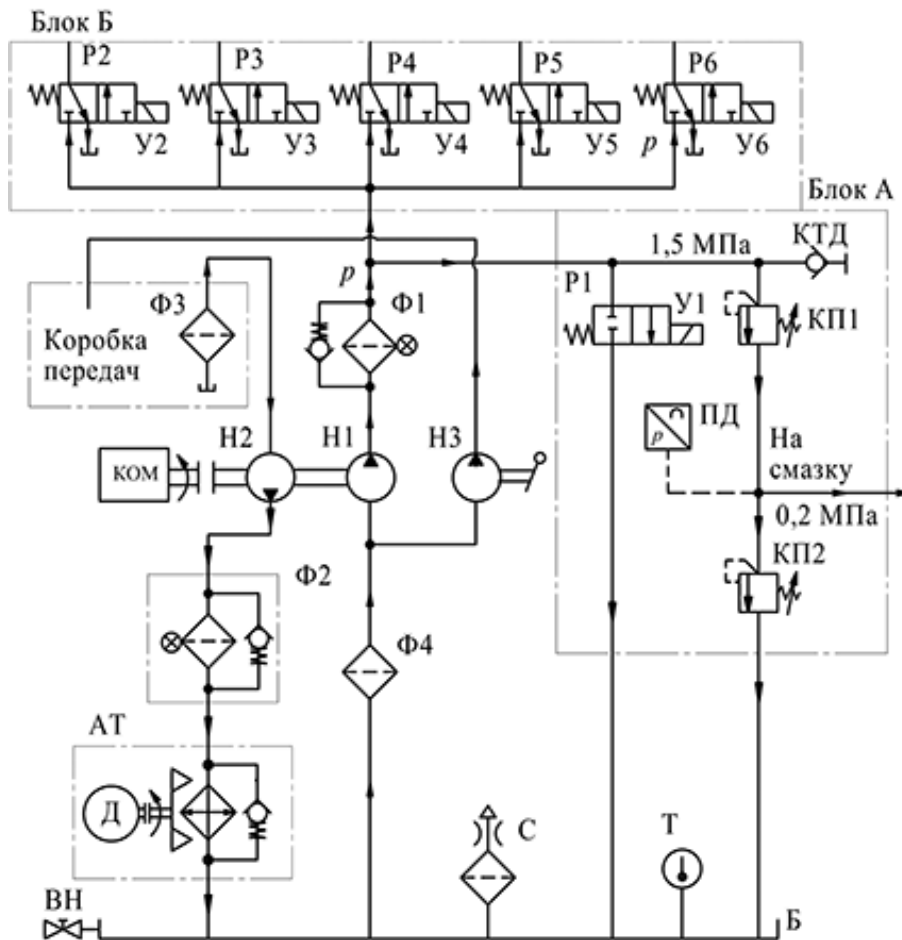


Рисунок 8 — Гидравлическая принципиальная схема управления двухпоточной трансмиссией ГОМТ-ГТБ мотовоза МТ-1 «Крокус»

Для охлаждения рабочей жидкости установлен маслоохладитель АТ с приводящим двигателем Д вращения вентилятора. Особенностью трансмиссии ГОМТ является введение режима откачки рабочей жидкости из корпуса с целью снижения барботажных потерь на перемешивание рабочей жидкости и обеспечение разгрузки насоса при запуске трансмиссии ГОМТ и при работе технологического оборудования.

Возможности применения насосов объемного гидропривода ГОМТ для технологических нужд мотовоза показаны в качестве примера на рисунке 9. Гидравлическая принципиальная схема объемного гидропривода с замкнутой цепью циркуляции рабочей жидкости включает насос Н с регулируемым рабочим объемом, гидромотор М, шестилинейный двухпозиционный гидрораспределитель Р1 с гидравлическим управлением и пружинным возвратом в исходную позицию, пилотный гидрораспределитель Р2 управления гидрораспределителем Р1, трубопроводы подвода рабочей жидкости к объемному гидроприводу рабочих органов РО технологического оборудования мотовоза.

Для упрощения изображения все необходимые для функционирования объемного гидропривода гидростройства (насос подпитки, предохранительные и обратные клапаны, фильтр, маслоохладитель, гидробак, система управления и др.) условно не показаны.

Объемный гидропривод обеспечивает два режима работы:

1) при отсутствии электропитания ($U_1 = 0$) на гидрораспределителе Р2 (рисунок 9, а) золотник гидрораспределителя Р1 занимает крайнее левое положение, обеспечивая реверсивное вращение гидромотора М, так как выходные магистрали А и В насоса Н соединены с магистралями А1 и В1 гидромотора М;

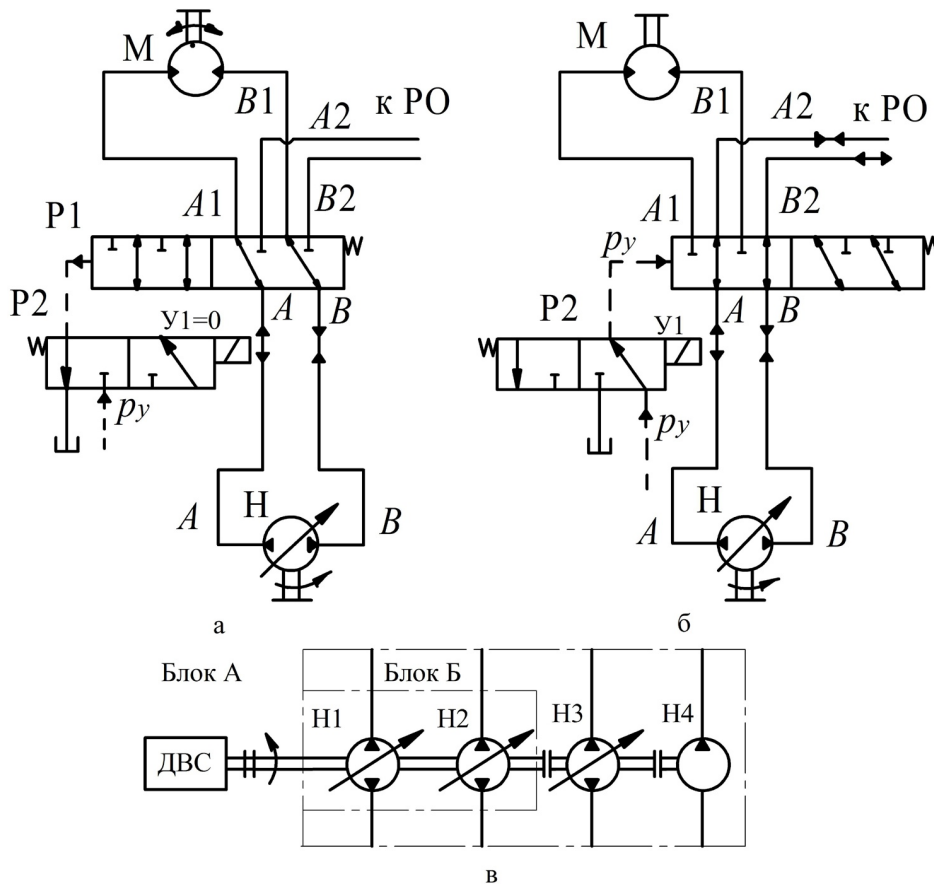


Рисунок 9 — Гидравлическая принципиальная схема объемного гидропривода подачи рабочей жидкости к гидромотору М трансмиссии ГОМТ (а) или рабочему оборудованию РО мотовоза (б) с помощью гидрораспределителей серии МН6(7) «Rexroth Bosch Group» и секционный насос для трансмиссии и технологического оборудования (в)

2) при подводе электропитания У1 к гидрораспределителю Р2 (рисунок 9, б), под действием давления управления золотник гидрораспределителя Р1 смещается вправо и обеспечивает сообщение магистралей насоса Н с гидроустройствами рабочего оборудования (выходные магистрали А и В насоса Н соединены с магистралями А2 и В2 рабочего оборудования РО).

Современная номенклатура насосов позволяет обеспечить функционирование объемного гидропривода для трансмиссии и технологических операций от одного секционного насоса (рисунок 9, в), объединенного в две группы: моноблока насосов с приводящим ДВС (блок А), включающего блок Б — насосов Н1 и Н2 аксиальнопоршневого типа со следящим регулятором изменения рабочего объема для объемного гидропривода трансмиссии, аксиальнопоршневого насоса Н3 с автоматическим энергосберегающим регулятором рабочего объема «подача-давление» и Н4 — шестеренного насоса систем подпитки, регулирования рабочего объема насосов Н1 и Н2, и охлаждения рабочей жидкости .

Номенклатура аксиальнопоршневых насосов и гидромоторов производства отечественных предприятий «Гидросила» и «Стройгидравлика» позволяет реализовать создание двухпоточных гидромеханических трансмиссий мощностью до 300 кВт.

В частности, «Гидросила» производит аксиальнопоршневые насосы с наклонным диском серии PVH112 на номинальные значения давления 42 МПа (максимальное 45 МПа) и частотой вращения 2500 мин⁻¹. Имеется исполнение тандем-насосов с суммарным рабочим объемом 224 см³ (112+112), которые обеспечивают мощность более 300 кВт. Длина такого комплекта насосов составляет 762 мм, фронтальный габарит 290x270 мм, высота насоса с регулятором рабочего объема до 376 мм.

Возможна также установка на задней крышке аксиальнопоршневого насоса шестеренного насоса. Номенклатура гидромоторов ограничена рабочим объемом 112 см³ (серия MVH с регулируемым и MFH с

постоянным рабочим объемом) на номинальное давление 42 МПа (максимальное 45 МПа) и номинальной частотой вращения 2500 мин⁻¹ (максимальной до 3720 мин⁻¹). Номинальная выходная мощность гидромотора составляет 156 кВт. Аксиальнопоршневые гидромоторы с наклонным блоком цилиндров модели 310-224А ОАО «Стройгидравлика» с рабочим объемом 224 см³ на номинальное давление 20 МПа (максимальное 32 МПа) обеспечивают при номинальной частоте вращения 1200 мин⁻¹ мощность более 80 кВт (при максимальной частоте вращения 1920 мин⁻¹ до 115 кВт).

Применяемые в двухпоточных ГОМТ рабочие объемы гидромашин фирмы Sauer-Danfoss в зависимости от мощности двигателя трактора и его назначения изображены на рисунке 10.

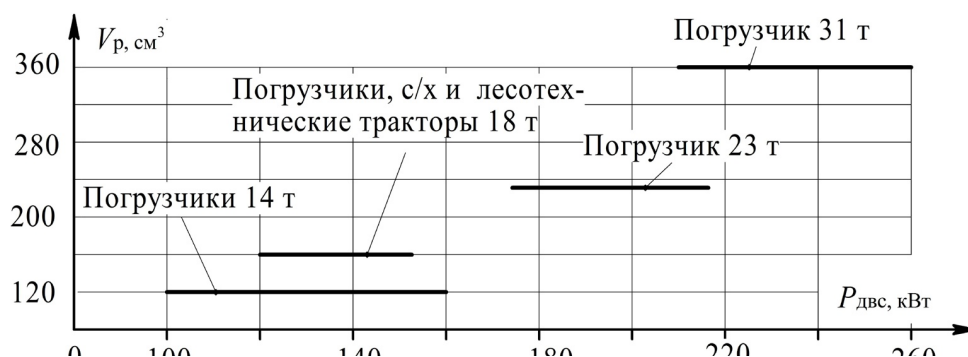


Рисунок 10 — Рабочие объемы насосов и гидромоторов фирмы Sauer-Danfoss, применяемые в двухпоточных коробках передач тракторов

Насосы и гидромоторы с рабочим объемом от 120 см³ до 360 см³ обеспечивают бесступенчатое регулирование скорости тракторов с мощностью ДВС от 105 до 260 кВт. Максимальная скорость тракторов достигает 45—60 км/ч. Новая технология НМТ для аксиальнопоршневых гидромашин с наклонным блоком цилиндров выпускается фирмой для коробок передач тракторов Fendt Vario и John Deere (серии 7000 и 8000). Особенностью новой технологии является переход от угла наклона блока цилиндров в 32° в серии 51 до 45° в серии 51S и возможность работы на рекордных давлениях в 55 МПа (ранее до 48 МПа). Увеличение угла наклона блока цилиндров и повышение давления способствует уменьшению габаритно-массовых показателей гидромашин.

Таблица 2 — Параметры объемных гидромашин для двухпоточных трансмиссий

Наименование параметра ГОМТ	John Deere 8345R [2]	Fendt Vario 936 [2]	Трактор ХТЗ17021*	Мотовоз МТ-1
Шифр ГОМТ	J-D Auto Power	Fendt Vario	ГОМТ	ГОМТ-ГТБ
Мошн. ДВС, кВт	254	243	125	330
Тип гидромашин	Sauer	Sauer	Гидросила	RBG**
Регулируемость	Н-р; М-р	Н-р; М-р	Н-р; М-н	Н-р; М-н
Рабоч. объем, см ³	160x160	360x360	112x112	360x355

Примечания: 1. Н — насос; М — гидромотор, Н-р — насос с регулируемым рабочим объемом, М-н — гидромотор с постоянным рабочим объемом; 2. Все насосы и гидромоторы аксиальнопоршневого типа; 3. *) ГОМТ для трактора ХТЗ создана в Харьковском национальном техническом университете «ХПИ» под научным руководством д.т.н. В.Б. Самородова; 4. **) Rexroth Bosch Group.

В таблице 2 приведены сведения о двухпоточных гидромеханических коробках передач современных тракторов и мотовоза МТ-1. Следует отметить, что номенклатура аксиальнопоршневых гидромашин и радиальнопоршневых с шариками-поршнями позволяет создавать на их базе двухпоточные объемногидромеханические коробки передач мощностью более 500 кВт.

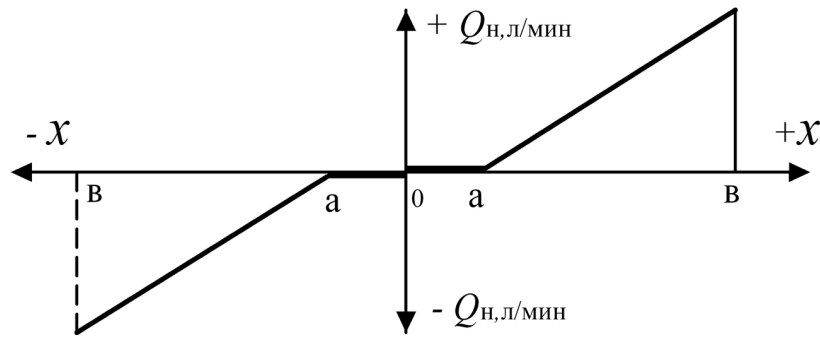


Рисунок 11 — Изменение теоретической подачи насоса Q_n от управляющего сигнала x механизма регулирования его рабочего объема

Мощность, передаваемая объемным гидроприводом через ГОМТ достигает 50—78% от мощности приводящего ДВС на режимах от ползучих скоростей порядка 0,3—2 км/ч до 20 км/ч.

Основной предпосылкой для создания двухпоточных трансмиссий является возможность получения с помощью объемного гидропривода бесступенчатого изменения частоты вращения гидромотора и жесткости его скоростной характеристики. Независимо от конструктивных отличий регуляторов рабочего объема подача насоса близка к линейной (рисунок 11).

$$Q_{n,i} = 10^{-3} V_{рн,i} \cdot n_n = 10^{-3} V_{рн} \frac{x-a}{b-a} \cdot n_n, \text{ л/мин}, \quad (1)$$

где $V_{рн}$ — максимальное значение рабочего объема насоса, $см^3$, $V_{рн,i}$ — текущее значение рабочего объема насоса, $см^3$, $a...b$ — зона управляющего мускульного или электрического воздействия на следящий золотник регулятора насоса, x — управляющее воздействие в диапазоне от a до b (диапазон от 0 до $\pm a$ является зоной нечувствительности), n_n — частота вращения насоса, $мин^{-1}$.

Частота вращения гидромотора изменяется пропорционально подводимому от насоса расходу рабочей жидкости

$$n_{м,i} = n_n \frac{V_{рн,i}}{V_{рм}} \eta_{он} \eta_{ом} = n_n \frac{V_{рн}}{V_{рм}} \frac{x-a}{b-a} \eta_{он} \eta_{ом}, \text{ мин}^{-1}, \quad (2)$$

где $V_{рм}$ — рабочий объем гидромотора, $см^3$, $\eta_{он}$ и $\eta_{ом}$ — коэффициент подачи насоса и объемный КПД гидромотора.

При экстремальных значениях $x = a$ и $x = b$ получаем нулевую и максимальную частоты вращения гидромотора

$$n_{м,i} = 0 \text{ при } x = a \text{ и } n_{м,макс} = n_n \cdot \frac{V_{рн}}{V_{рм}} \cdot \eta_{он} \cdot \eta_{ом} \text{ при } x = b \quad (3)$$

Крутящий момент гидромотора определяют по формуле

$$M_m = 0,159 \cdot V_{рм} \cdot \Delta p \cdot \eta_{мгм}, \text{ Нм}, \quad (4)$$

где Δp — перепад давлений на гидромоторе, $МПа$, $\eta_{мгм}$ — гидромеханический КПД гидромотора.

Значения $V_{рм}$, Δp и $n_{м,макс}$ являются постоянными, а гидромеханический КПД гидромотора в полном скоростном диапазоне равен $\eta_{мгм} = 0,85—0,95$, поэтому гидромотор имеет практически жесткую характеристику при

$$M_m \approx const \text{ при } n_m = 0...n_{м,макс} \quad (5)$$

Получают также распространение двухпоточные трансмиссии с регулируемым по рабочему объему гидромоторами, позволяя получить высокие транспортные скорости без наращивания установочной мощности приводящего ДВС. При этом частоту вращения гидромотора определяют по формуле

$$n_{m,i} = \frac{10^3 (Q_{н,i} - \Delta Q)}{V_{m,i}} \text{ мин}^{-1}, \quad (6)$$

где $V_{m,i}$ — рабочий объем гидромотора (текущее регулируемое значение), см^3 , ΔQ — утечки и перетечки рабочей жидкости в гидромоторе, л/мин .

Выводы

1. Сравнительный анализ показал, что по функциональному назначению двухпоточная трансмиссия ГОМТ-ГТБ мотовоза МТ-1 не уступает гидромеханической с гидротрансформатором мотовоза МПТ-6, а по показателю «масса/мощность» превосходит в 1,4 раза.

2. Наличие в основном контуре двухпоточной трансмиссии ГОМТ объемного гидропривода с широким диапазоном регулирования и жесткой характеристикой частоты вращения гидромотора позволяет использовать двухпоточную трансмиссию на режимах ходоуменьшителя. В трансмиссии ГП-300 с гидротрансформатором обеспечение режима ползучих скоростей мотовоза возможно только путем введения специального объемного гидропривода.

3. Трансмиссия двухпоточного типа ГОМТ лучше адаптирована к работе технологического оборудования мотовоза, так как насос его объемного гидропривода может использоваться для подачи рабочей жидкости к другим агрегатам. Возможна также установка комбинации насосов путем прифланцовывания к основному насосу объемного гидропривода одного или двух насосов технологического оборудования. Такая компоновка насосов позволяет упростить конструкцию коробки отбора мощности путем сокращения числа выходных валов и зубчатых муфт.

4. Введение режима откачки рабочей жидкости из корпуса двухпоточной трансмиссии позволяет существенно снизить потери мощности на перемешивание рабочей жидкости.

5. Потери мощности, затрачиваемые на обеспечение функционирования трансмиссий, существенно ниже в двухпоточной трансмиссии, так как подача насоса в трансмиссии ГП-300 почти в два раза выше, чем в ГОМТ.

6. Применение в ГОМТ современных аксиальнопоршневых насосов с электрогидравлическими регуляторами изменения рабочего объема позволяет существенно улучшить динамические характеристики мотовозов и получать устойчивые ползучие скорости.

7. Накопленный в Украине положительный опыт проектирования и изготовления двухпоточных трансмиссий с объемным гидроприводом для мотовозов и колесных тракторов позволяет рассчитывать на их более широкое внедрение при ремонте мотовозов с гидротрансформаторными трансмиссиями типа ГП-300 или создании новых отечественных мотовозов и др. мобильных машин.

Литература

1. Объемные гидромеханические передачи: Расчет и конструирование / О. М. Бабаев, Л. Н. Игнатов, Е. С. Кисточкин и др. ; Под общ. ред. Е. С. Кисточкина. — Л. : Машиностроение, 1987. — 256 с.
2. Щельцын, Н. А. Современные бесступенчатые трансмиссии с.-х. тракторов / Н.А. Щельцын // Тракторы и сельхозмашины. — 2011. — № 11. — С. 18—26.
3. Крымов, А. В. Механическое оборудование автодрезин и мотовозов: учебное пособие / А. В. Крымов. — М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. — 139 с.
4. Двухпоточный гидромеханический трансмиссионный блок. Руководство по эксплуатации Н2218 РЭ. — Харьков: КП ХКБМ им. А. А. Морозова, 2005. — 80 с.
5. Самородов, В. Б. Бесступенчатая гидрообъемно-механическая трансмиссия для мотовоза МТ-1: от патента до испытаний и эксплуатации / В. Б. Самородов, О. И. Деркач // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. — 2012. — № 3. — С. 21—26.
6. Аврунин, Г. А. Методика расчета объемного гидропривода для двухпоточной гидромеханической коробки передач / Г. А. Аврунин, А. И. Веретенников, О. И. Деркач и др. // Промислова гідроліка і пневматика. — 2009. — № 1(23). — С. 15—20.

7. Аврунин, Г.А. Экспериментальные исследования потерь мощности в современных аксиально-поршневых гидромашинах для мобильной техники / Г.А. Аврунин. — Промислова гідравліка і пневматика. — 2007. — 4(14). — С. 69—74.

8. Самородов, В. Б. Объектно-ориентированный подход к моделированию трансмиссий в области транспортного машиностроения / В. Б. Самородов, А. В. Рогов // Вестник ХГПУ, серия НРСТ. — Харьков. — 1999. — Вып. 66. — С. 48—53.

References

1. Babaev, O. M., Ignatov, L. N. Kistochkin E. S. et al. (1987). *Obemnye gidromekhanicheskie peredachi: Raschet i konstruirivanie*. [Volumetric hydromechanical transmissions: Calculation and design]. E. S. Kistochkin (Ed.). — Leningrad: Mashinostroenie [In Russian].

2. Sheltsin, N. A., Frumkin, L. A & Ivanov, I.V. (2001). *Sovremennye btesstupenchatye transmissii c.-kh traktorov* [Modern continuously variable transmissions agricultural tractors]. — *Traktory i selkhoz mashiny*. — [Tractors and agricultural machinery]. 11, 18—26.

3. Krymov, A. V. (2012). *Mekhanicheskoe oborudovanie avtodrezin i motovozov: uchebnoe posobie*. [Mechanical equipment for auto tires and trucks: study guide]. Moscow: FGBOU Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na shelezodorozhnom transporte [In Russian].

4. *Dvukhpotochny gidromekhanicheskiy transmissionnyy blok. Rukovodstvo po tkspkuatatsii H2218 RE* [Double flow hydromechanical transmission unit. Manual H2218 RE].— Kharkov, KP KHBM im. A. A. Morozov [In Russian].

5. Samorodov, V. B. & Derkach, O. I. (2012). *Besstupenchataya gidroobemnaya-mekhanicheskaya ntransmissiya dlya motovoza MT-1: ot patenta do ispytaniy i ekcpkluatatsii* [Stepless hydrovolume-mechanical transmission for MT-1 truck: from patent to testing and operation]. *Informatsiyno-keruyuchi sistemy na zaliznuchnomu transporti*. — [Information and control systems on the railway transport], 3, 21—26. [In Russian].

6. Avrunin, G. A., Veretennikov, A. I. Derkach, O. I. et al. (2009) *Metodika rascheta obemnogo gidroprivoda dlya dvukhpotochnoy gidromekhanicheskoy korobki peredach* [Method of calculation of the volume hydraulic drive for a two-speed hydromechanical gearbox] — *Promuslova gidravlika i pnevmatika* — [Industrial hydraulics and pneumatics], 1(23), 15—20 [In Russian].

7. Avrunin, G. A., Belyi, O. I., Kabanenko, I. V. et al. *Eksperimentalnye issledovaniya poter moschnosti v sovremennykh aksialno-porshnevnykh gidromashinakh dlya mobilnoy tekhniki* [Experimental studies of power losses in modern axial-piston hydraulic motors for mobile technology]. *Promuslova gidravlika i pnevmatika*. — [Industrial hydraulics and pneumatics], 4(14), 69—74. [In Russian].

8. Samorodov & V. B, Rogov, A. V. (1999). *Obektivno-oritntirovanny podxod k modelirovaniyu transmissiy v oblasti transportnogo mashinostroeniya* [Object-oriented approach to modeling transmissions in the field of transport machine building]. — *Vestnik KHGPU, seriya HPCT*. — [Bulletin, KHGPU, seriya HPCT], 66, 48—63 [In Russian].

Надійшла 17.09.2018

УДК 621.22

Порівняльні характеристики гідромеханічних трансмісій для залізничних мотовозів

Г. А. Аврунін, В. Б. Самородов,
С. Г. Ковалевський, І. І. Мороз

Мета. Порівняння технічних характеристик гідромеханічних трансмісій для залізничних мотовозів на основі гідродинамічного комплексного гідротрансформатора моделі ГП-300 і двохпотоковою на основі об'ємного гідропривода з машинним безступінчастим регулюванням швидкості гідромотора моделі ГОМТ-ГТБ з метою оцінки перспективності застосування останньої у вітчизняних мотовозах.

Метод дослідження. Аналіз конструктивних і компоувальних особливостей трансмісії потужністю 220 і 330 кВт, систем забезпечення функціонування і реалізації режимів роботи при зрушенні з місця, маневруванні і русі на максимальній швидкості, у тому числі з вибором режимів енергозбереження. Порівняння за відносним показником відношення маси трансмісії до потужності приводного двигуна внутрішнього згорання.

Результати дослідження. Показано, що двофлюксова об'ємно-гідромеханічна трансмісія моделі ГОМТ-ГТБ, встановлена на мотовозі МТ-1 львівської фірми «Крокус», відрізняється можливістю роботи з високим ККД в повному діапазоні швидкості руху мотовоза за допомогою регулювання робочого об'єму насоса, у тому числі на нижній межі регулювання без введення додаткових систем ходозменшування, як це вимагає трансмісія з гідротрансформатором.

Висновок. Результати вітчизняних розробок і накопичений позитивний досвід в області двофлюксових трансмісій для мотовозів і колісних сільськогосподарських тракторів можуть ширше використовуватися при ремонті імпортованих трансмісій і створенні нових. В якості гідромашин для комплектації об'ємного гідропривода можуть використовуватися аксіальнопрошневі насоси і гідромотори українського виробництва, забезпечуючи передачу потужності до 300 кВт.

Ключові слова: залізничний мотовоз, гідромеханічна трансмісія, гідротрансформатор, об'ємний гідропривод, планетарна коробка передач, ККД, потужність, ходозменшувач

UDC 621.22

Comparative descriptions of hydromechanical transmissions for railway movable platform

G. A. Avrunin, V. B. Samorodov, S. G. Kovalevskiy, I. I. Moroz

Aim. Comparison of technical descriptions of hydromechanical transmissions on the basis of hydrodynamic of complex transformer of model of GP-300 and by a double-flux on the basis of by hydraulic fluid power with a machine stepless to adjusting speed of hydraulic motor of model of GOMT-GTB with the purpose of estimation of perspective of application last in home railway movable platform.

Method of research. Analysis of structural and layout features of transmissions by power 220 and 330 kW, systems of providing of functioning and realization of office hours at touching from a place, manoeuvring and motion on high speed, including with the choice of the modes of energy-savings. Comparison on the relative index of relation of mass of transmission to leading engine power internal combustion.

Results of research. It is shown that the double-flux by volume of hydromechanical transmission of model of GOMT-GTB, set on railway movable platform of MT-1 of an Lviv firm «Crocus», differs in possibility of work with high efficiency in wide range of rate of movement of railway movable platform by means of adjusting of displacement of pump, including on the lower limit of adjusting without introduction of the additional systems of reduction of motion, as it requires trance-mission with by hydrodynamic transformer.

Conclusion. The results of home developments and accumulated positive experience in area of double-flux transmissions for railway movable platform and wheeled of agricultural tractors can be more widely drawn on at repair of the imported transmissions and creation new. As hydraulic motors for acquisition of by volume hydraulic fluid power axial piston pumps and hydraulic motors of the Ukrainian production can be used, providing to pass power to 300 kW.

Keywords: railway movable platform, hydromechanical transmission, hydrodynamic transformer, hydraulic fluid power, planetary gear-box, efficiency, power, reduction of motion of railway movable platform.

Відомості про авторів

Аврунін Григорій Аврамович

тел. (+38) 050-5966253,

e-mail: griavrunin@ukr.net

ORCID 0000-0002-0191-3149

Аврунин Григорий Аврамович

тел. (+38) 050-5966253

e-mail: griavrunin@ukr.net

ORCID 0000-0002-0191-3149

Avrunin Grigory

tel. (+38) (050) 596-62-53

e-mail: griavrunin@ukr.net

ORCID 0000-0002-0191-3149

Самородов Вадим Борисович

тел. (+38) 067-5777126

e-mail: samorodovvadimat@gmail.com

ORCID 0000-0002-2965-5460

Самородов Вадим Борисович

тел. (+38) 067-5777126

e-mail: samorodovvadimat@gmail.com

ORCID 0000-0002-2965-5460

Samorodov Vadim Borisovich

tel. (+38) 067-5777126

e-mail: samorodovvadimat@gmail.com.

ORCID 0000-0002-2965-5460

Ковалевський Сергій Германович

тел. (+38) 097-2407180

e-mail: 2407180@ukr.net

ORCID 0000-0002-6299-2223

Ковалевский Сергей Германович

тел. (+38) 097-2407180,

ORCID 0000-0002-6299-2223,

e-mail: 2407180@ukr.net

Kovalevskiy Serhii

tel. (+38) 097-2407180

e-mail: 2407180@ukr.net

ORCID 0000-0002-6299-2223,

Мороз Ирина Іванівна

тел.: (+38) 0577053216

e-mail: irinamoroz25.01@ukr.net.

ORCID 0000-0001-5950-2089

Мороз Ирина Ивановна

тел.: (+38) 0577053216

e-mail: irinamoroz25.01@ukr.net.

ORCID 0000-0001-5950-2089,

Moroz Irene

tel. (+38) 0577053216

e-mail: irinamoroz25.01@ukr.net.

ORCID 0000-0001-5950-2089