

Создание гидropередачи на базе роликколопастных машин

В.В. ДОМОГАЦКИЙ,
канд. техн. наук,
генеральный конструктор
НТЦ «DOROLL»

Особая страница в истории объёмного гидропривода принадлежит роликколопастным гидромашинам (РЛГ). Идея создания машин с вращающимися вытеснителями возникла гораздо раньше описываемых событий, но такие машины использовались не на железнодорожных тягово-транспортных средствах, поэтому в статье подробно не рассматриваются. Первый патент на подобную гидромашину получил в 1882 г. штабс-капитан русского флота Н.Н. Тверской, но должного развития и применения это изобретение в России не нашло. Нельзя не отметить, что в США в 1963 г. первый приз был получен за двигатель, конструкция которого практически полностью повторяла разработки Тверского.

Современный этап развития гидростатических передач начинается с *20-х годов прошлого столетия*, когда в Германии на тепловозах небольшой мощности стали использовать ступенчато регулируемые передачи шибберного типа, известную под названием «передача Лентца». Испытания тепловоза, проходившие в 1923 г., выявили целый ряд конструктивных недостатков этой передачи, которые не позволили организовать её серийное производство.

Позже инженеры, конструкторы и учёные многих стран пытались параллельно с доводкой передачи Лентца создавать и свою собственную. Это инженеры Шумахер, Хувилер, Шнейдер и многие другие. На одном из первых советских тепловозов мощностью 900 кВт предполагалась установка гидростатической передачи профессора Ф.Х. Мейнеке (сотрудника Российской железнодорожной миссии в Германии), которая представляла собой симбиоз двоярного аксиально-поршневого насоса типа Дженни и нерегулируемого шибберного гидромотора типа Лентца. Изменение направления движения тепловоза и его останковка выполнялись посредством управления наклонной шайбой насоса.

В 1937 г. английская фирма Keelavite Ltd. провела успешные испытания роторных гидромашин с роликами-разделителями. В это же время над аналогичными схемами работали учёные СССР, Швеции, США и ряда других стран.

В 1960 г. на Людиновском тепловозостроительном заводе (ЛТЗ) силами собственного СКТБ и харьковского СКБ-7 был разработан и построен маневровый тепловоз ТГС1 (базовый тепловоз ТГМЗ) с аксиально-поршневым гидростатическим (АПГ) приводом (2 насоса и 4 гидромотора) [1]. Мощность дизельного двигателя тепловоза составляла 550 кВт. Опытные образцы гидромашин были смонтированы на тепловозе в 1961 г. Однако при испытаниях были выявлены серьезные просчёты, допущенные при проектировании передачи, приводившие к частым отказам в работе поршней гидромоторов и заклиниванию их роторов. Кроме того, конструктивно и технологически сложный АПГ привод имел низкий КПД и высокий уровень шума.

Перспективная идея на заводе была дискредитирована, поэтому дальнейшие работы проводились силами отдельных энтузиастов по двум альтернативным направлениям. Главный инженер завода сделал основную ставку на создание гидростатических кривошипно-шатунных машин с квадратными (прямоугольными) поршнями, которые разрабатывались вновь соз-

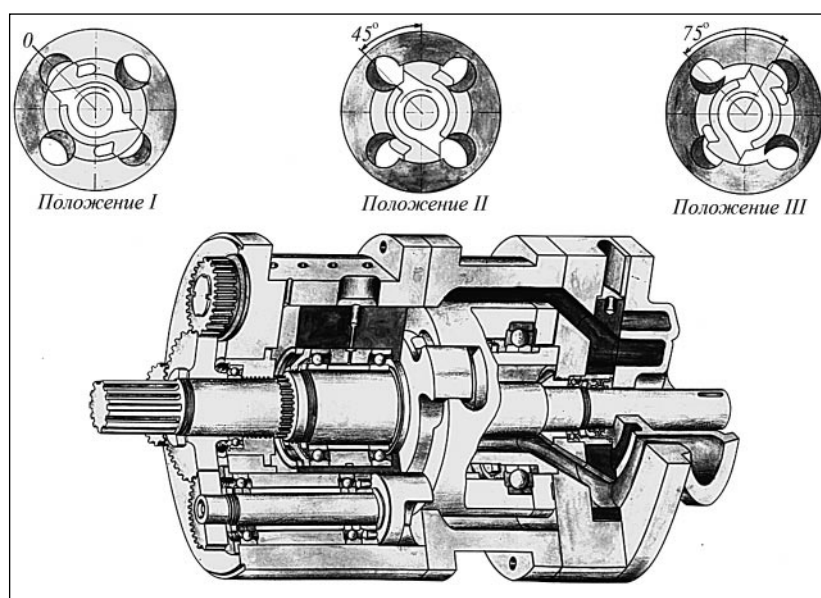


Рис. 1. Регулируемая объёмная гидромашина ГПП-2ру

данном отделом, состоящим из конструкторов СКБТ ЛТЗ под руководством А.А. Смирнова. Одновременно на заводе образовалось Общественное КБ (ОКБ) по разработке гидростатической трансмиссии на базе принципиально новых роликколопастных гидромашин.

Усилиями сотрудников ОКБ был спроектирован и изготовлен опытный образец **роликколопастной объёмной гидропередачи (РЛГП) типа ГПР-2ру** (рис. 1), который в 1967 г. был установлен на тепловоз ТГС-1 вместо аксиально-поршневой гидропередачи. Образец тепловоза, получивший индекс ТГМЗ⁰-001, прошёл предварительные (заводские) испытания, которые подтвердили соответствие функционального назначения изделия. На рис. 2 показана принципиальная гидросхема РЛГП тепловоза ТГМЗ⁰-001.

Следует отметить, что продолжению работ по созданию гидростатических передач такого типа препятствовало отсутствие в СССР специализированных предприятий, серийно производящих гидромашин требуемой мощности. За рубежом к концу 60-х — началу 70-х годов объёмный гидропривод уже применяли такие фирмы, как «Антонио Бадони» (Италия), «Секмафер» (Франция), «Фойт» (Германия и Австрия), «Тошиба» (Япония), специализированный тепловозостроительный завод в г. Винтертуре (Швейцария) и др. Ими был охвачен широкий мощностной диапазон от 40 до 600 кВт. Однако повсеместно применялись только аксиально- и радиально-поршневые гидромашин.

Отдельные недостатки поршневых гидропередач во многом способствовали негативному отношению ко всем объёмным гидропередачам. Это, прежде всего, относительно низкий коэффициент полезного действия машин, работающих в моторном режиме, особенно на нагрузках при низких давлениях рабочей жидкости и высоких скоростях движения тепловоза; повышенные требования к фильтрации рабочей жидкости; высокая стоимость изготовления и невысокая надёжность.

Несколько позже в СССР разработали конструкцию РЛГ для тепловозов малой мощности до 100 кВт. На рис. 3 приведён гидромотор типа ГМ-2000 общего типоразмерного ряда. Эти гидромашин прошли предварительные стендовые испытания и были предназначены для установки на опытный тепловоз Камбарского машиностроительного завода [2].

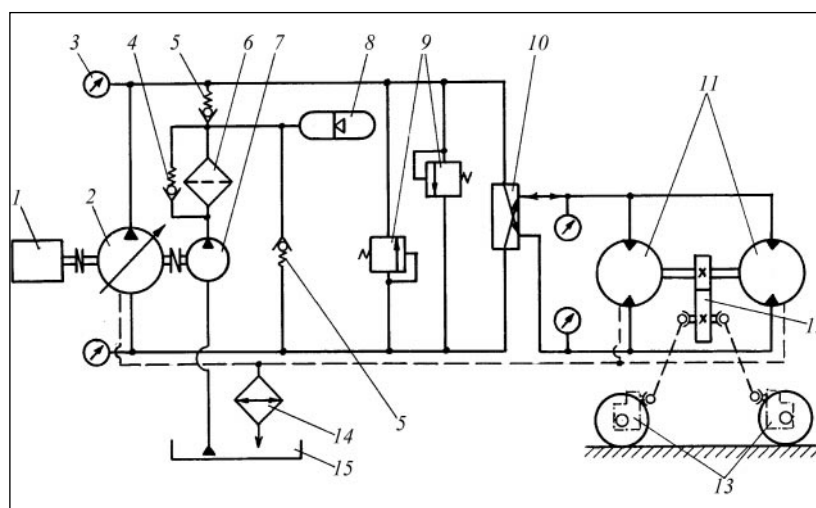


Рис. 2. Принципиальная гидросхема РЛГП тепловоза ТГМЗ⁰-001: 1 — дизель М753 с мультипликатором; 2 — гидронасос ГПР-2ру; 3 — манометр; 4 и 5 — предохранительный (0,4 МПа) и подпиточный (0,02–0,05 МПа) клапаны; 6 — фильтр; 7 — насос подпитки; 8 — гидроаккумулятор (0,25–0,3 МПа); 9 — предохранительные клапаны (10 МПа); 10 — реверсивный трёхпозиционный золотник с сервоприводом; 11 — гидромоторы ГПР-2ру; 12 и 13 — раздаточный и колёсные редукторы; 14 — теплообменник на общем сливе; 15 — гидробак

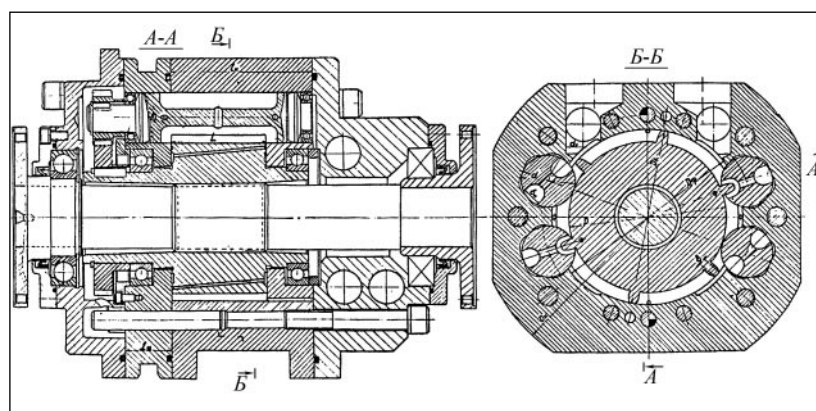


Рис. 3. Гидромотор типа ГМ-2000

На рубеже 80–90-х годов в России был создан унифицированный модельный ряд РЛГ с высокими техническими параметрами, который на сегодняшний день включает в себя 6 базовых моделей и 20 типоразмеров с рабочими объёмами от 0,5 до 2000 см³ и 3 типоразмера гидромотор-колёс для привода ходовых систем различных транспортных средств.

РЛГ серии ГМ выполнена по симметричной схеме. Внутри корпуса расположен ротор с лопастями. В корпусных деталях сделаны осевые цилиндрические отверстия, в которых установлены ролики-разделители цилиндрической формы с пазами, предназначенными для свободного перемещения лопастей. Вращение ротора синхронизировано с вращением всех роликов. Симметрично расположенные каналы предназначены для подвода и отвода рабочей жидкости. В отличие от других извест-

ных конструкций гидростатического привода (поршневых, шестерённых и других типов) малозумные РЛГ не имеют трущихся частей и могут работать на любых жидкостях, вплоть до морской воды. РЛГ можно применять в широком частотном диапазоне от 0,1 до 5000 мин⁻¹. На их базе создана целая гамма гидромоторов для технических средств различных отраслей промышленности.

В конструкции РЛГ предусмотрена гидравлическая разгрузка всех основных деталей, что обеспечивает высокую надёжность в эксплуатации, бесшумность в работе и отсутствие вибрации. В отличие от аксиально-поршневых и шестерённых гидромашин, обычно выпускаемых в трёх исполнениях — для работы в моторном режиме и насосном (с правым или левым вращением ротора), РЛГ — универсальны. Одна и та же гидромашинка может работать в любом режиме и при любых направлениях вращения ротора, и, в отличие от прогрессивной динамической передачи, реверсирование в ней может выполняться простым переключением потока рабочей жидкости гидрозолотником.

По заказу РЛГ могут выпускаться с двумя выходными валами, что позволяет удобно компоновать привод вспомогательного оборудования тепловоза. Если применить встроенный планетарный редуктор, то можно реализовать очень высокие крутящие моменты — до 2 МН·м (200 т·м).

Применение РЛГ со «сквозным» валом позволяет «нанизывать» две и более последовательно соединённые друг с другом гидромашинки (насосы и моторы) с одинаковыми или разными рабочими объёмами V_0 .

По сравнению с аксиально-поршневыми гидромашинками трудоёмкость изготовления РЛГ в нормо-часах в 2–3 раза меньше. Более 90% деталей РЛГ производят на станках с числовым программным управлением по «безлюдной» технологии. У РЛГ давление при трогании с места в режиме гидромотора на холостом ходу на порядок ниже, чем у гидромоторов других типов (поршневых, лопастных, героторных и др.), и не превышает 10 кПа (0,1 бар).

Область применения этих компактных механизмов очень широка. Кроме локомотивов, это тракторы, автомобили, вездеходы, амфибии, приводы станков различного назначения, вся гамма машин сельского хозяйства, движители судов, приводы вспомогательных судовых агрегатов и оборудования глубоководных механизмов,

всевозможные краны, подъёмники, лифты, лебёдки, привод бурового и горного оборудования, шахтные машины, а также различное оборудование и стенды в оборонных отраслях промышленности.

РЛГ — машины XXI века, и созданы они в России! К сожалению, конструкторы и локомотивостроители не особенно интересуются отечественными разработками в области гидростатического привода. Многие технические решения наших соотечественников быстро внедряются за рубежом и только потом появляются на российском рынке в виде готовой и дорогостоящей продукции.

НПЦ «DOROLL» разработал и изготавливает всю гамму высокоэкономичных, долговечных, компактных и быстроходных силовых РЛГ (универсальных гидромоторов и гидронасосов) **серий ГМ- V_0 и РЛГ- V_0** с рабочими объёмами от 0,5 до 2000 см³, давлением до 28 МПа (280 бар) и мощностью от 0,2 до 1000 кВт (самые мощные в России). Эти компактные и высокоэкономичные (КПД до 0,98) гидромашинки имеют удельную металлоёмкость (энергоёмкость) порядка 0,1 кг/кВт. В настоящее время также проводятся стендовые испытания экспериментального образца перспективной регулируемой объёмной гидростатической трансмиссии (ГОТ) с мотор-колёсами отдельного исполнения и гидровариатора, заменяющего автоматическую коробку перемены передач (АКПП) на современном автомобиле. Стоимость изготовления такого гидровариатора — простого по конструкции (содержащего 8 вращающихся деталей и не имеющего силовых шестерён) — в серийном производстве будет находиться на уровне обычных механических коробок перемены передач (КПП).

Регулируемая ГОТ- V_0 с мотор-колёсами отдельного исполнения такой конструкции может заменить АКПП и КПП на транспортных машинах (в том числе на автомобилях). **Гидрообъёмный трансформатор серии ГОТр- V_0 нераздельного исполнения** может также с минимальными затратами заменить АКПП и КПП на транспортных средствах (в том числе на автомобилях). ГОТ- V_0 и ГОТр- V_0 превосходят АКПП и КПП по ряду технико-экономических параметров, в том числе по отсутствию провалов силы тяги, возможности перемещения (даже в гору) на холостом ходу ДВС (без воздействия на акселератор за счёт высокого диапазона $i \geq 200:1$ расхода Q против $i_{\max} \sim 4-6$), а также по возможности страгивания с

Техническая характеристика РЛР серий ОР-V₀

Показатель	Типоразмер расходомера			
	ОР-2	ОР-40	ОР-200	ОР-1000
Диаметр условного прохода D_y , мм	6	20	32	80
Рабочий объём V_0 , см ³	2	40	200	1000
Пределы допустимой погрешности измерений (модификаций ОР-V ₀ РЭ) δ (Δ) от измеряемого значения (в соответствии с сертификатами): объёма V_{\max} и расхода Q_{\max} газа, %, не более объёма V_{\max} и расхода Q_{\max} жидкости, %, не более	$\pm 0,50$ $\pm 0,15$	$\pm 0,25$ $\pm 0,10$	$\pm 0,25$ $\pm 0,10$	$\pm 0,20$ $\pm 0,10$
Верхний предел измерений расхода газа, Q_{\max} , дм ³ /мин (м ³ /ч)	10 (0,6)	100 (6)	500 (30)	3000 (180)
Верхний предел измерений расхода жидкости при Q_{\max} , дм ³ /мин (м ³ /ч) для вязкостей ν , сСт: от 0,1 до 10 от 10 до 100 от 100 до 5000	10 (0,6) 2,5 (0,15) 1,2 (0,072)	100 (6) 50 (3) 25 (1,5)	500 (30) 400 (24) 200 (12)	1800 (108) 1200 (72) 600 (36)
Габариты $D \times L$, мм	55×80	92×130	160×230	230×376
Масса, кг	0,6	2,5	12	24

Примечание: рабочее давление $p_{\max} = 0,6$ МПа (6 бар), по спецзаказу до 40 МПа (400 бар); потеря давления $\Delta p_{\text{хх}}$ при максимальном расходе Q_{\max} на газе не более 2кПа (0,02 бар), а на жидкости ≤ 50 кПа ($\leq 0,5$ бар).

места, движения автомобиля на холостом ходу работы ДВС и по высокой приёмности машины за счёт возможности использования дополнительной энергии, запасённой гидроаккумулятором при торможении. Более высокий КПД (отчасти, за счёт применения в гидросистеме аккумулятора энергии), лучшие разгонные характеристики, большая долговечность первичного двигателя – всё это характеризует РЛГП. По стоимости изготовления (при организации серийного производства) РЛГП не дороже обычных широко распространённых КПП традиционного исполнения.

Известно, что АКПП превосходит КПП при городском движении, но значительно уступает ей при перемещении в условиях бездорожья. ГОТ-V₀ и ГОТр-V₀ исключают эти недостатки [3].

Область применения машин роликостопного типа достаточно широка. В частности, следящие гидроприводы подачи механообрабатывающего инструмента (первых советских пятикоординатных станков с ЧПУ типа ФП-14МЛ) были выполнены на базе РЛГ отечественного производства Людиновским агрегатным заводом МИНСТАНКОПРОМа СССР. В 1972 г. партия этих станков была изготовлена Савёловским машзаводом МИНАВИАПРОМа СССР и успешно работала в течение 8 лет на Ташкентском авиазаводе. В приводах гребных винтов судов также применяются отечественные РЛГ, а в КНР уже более 5 лет работает специальный стенд, где в следящих приводах крена и тангажа успешно

используются отечественные РЛГ типа ГМ-32.

В настоящее время разработан макетный образец двигателя с внешним подводом тепла (ДВПТ) на базе конструктивных схем РЛГ и приборов серий РЛГ-V₀, ГМ-V₀ и ОР-V₀ (с использованием фазовых переходов газ-жидкость и без них: только на сжатой жидкости или сжатом газе или на смеси: жидкость + газ), работающий на принципе теплового насоса.

На конструктивной базе гидромашин объёмной гидропередачи тепловоза ТГМЗ⁰-001 в 1964 г. были разработаны сверхточные широкодиапазонные РЛ объёмомеры-расходомеры (РЛР), которые до сих пор не имеют аналогов в мировой технике.

В настоящее время отечественные РЛР по широте диапазона i , точности замера объёма V и расхода Q как жидкостей, так и газов, не имеют себе равных как в отечественной, так и зарубежной технике.

Модельный ряд четырёх типоразмеров РЛР серий ОР-V₀ (см. таблицу) и РЛГ-V₀ с рабочими объёмами $V_0 = 2; 40; 200$ и 1000 см³ и диаметрами условного прохода $D_y =$ от 6 до 80 мм охватывает диапазон i расходов Q от 1 капли·сек⁻¹ до $Q_{\max} = 100$ м³/ч (для жидкостей), т.е. обеспечивает $i \geq 5000:1$ и $i \geq 100:1$ (для газов). Конструктивные схемы РЛ расходомеров и гидромашин приведены на рис. 4.

На отечественные конструкции РЛР и РЛ гидромашин было получено 11 патентов в промышленно развитых странах мира. В 1985 г. получены первые сертификаты соответствия на эти РЛР, а в 1989 г.

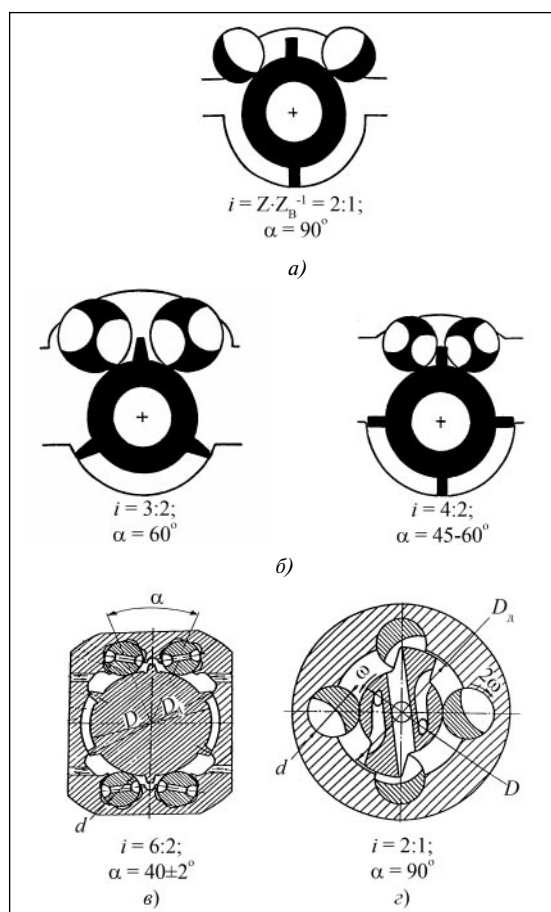


Рис. 4. Основные оптимальные конструктивные схемы универсальных беспульсационных РЛГ (насосов и гидромоторов) и РЛР серий ОР-V₀ (а), РЛГ-V₀ (б), ГМ-V₀ (в) и РЛГ-V₀ (г)

через «ЛИЦЕНЗИНТОРГ» СССР проданы первые лицензии (с ограниченными правами использования) Японии и Швейцарии на второе поколение РЛР (только на жидкости). РЛР применяются для замера объёма и расхода дизельного топлива, бензина, других нефтепродуктов и ГСМ на автомобилях, тракторах, тепловозах, судах и другой мобильной и стационарной технике. С 1996 г. начато производство РЛ гидромашин и расходомеров в Южной Корее по российской лицензии. В РФ НТЦ «DOROLL» производит более совершенные РЛ машины и расходомеры нового поколения, которые не имеют аналогов в мировой технике.

Список литературы

1. Раков В.А. Локомотивы отечественных железных дорог. 1845–1955. М.:Транспорт, 1995.
2. Домогацкий В.В. Выбор оптимальных параметров объёмной гидропередачи для узкоколейных тепловозов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1978.
3. «Счетовод» меняет профессию // За рулём. 2008. № 6.

СДМ