

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ В СОСТАВЕ ТРАНСМИССИЙ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН

**С.В. Кондаков¹, Р.Е. Демешко¹, А.А. Малаховецкий²,
Р.А. Закиров¹, И.А. Подживотова¹**

¹ Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

² Омский автобронетанковый инженерный институт, г. Омск, Россия

Приведены результаты анализа существующих электрических и гидрообъемных машин, фактически или потенциально используемых в составе трансмиссий гусеничных машин как быстроходных, например, тягачей, бронемашин, так и тихоходных – промышленных тракторов. В состав трансмиссий таких машин обязательно входят механизмы поворота – дифференциальные, независимые и другие. В современных гусеничных машинах стремятся применять бесступенчатые механизмы поворота. Они строятся на базе гидрообъемных и электрических машин. По внешним проявлениям они подобны. Именно поэтому перед конструкторами и учеными, занимающимися вопросами бесступенчатых трансмиссий транспортных и тяговых машин, стоит актуальный вопрос о преимуществах и недостатках этих альтернативных видов передач. Авторами сделана попытка сравнить гидрообъемные и электрические машины по некоторым важным критериям. Построены графики зависимостей стоимости указанных машин и массы от их номинальной мощности. Сформированы итоговые сравнительные графики и выводы об областях применимости рассмотренных машин. Использование электромашин на данный момент может быть оправдано в тех случаях, когда избыточный вес и габариты не являются критическими параметрами самоходной машины, например, железнодорожная техника, корабельные энергетические установки, строительная и дорожная тяжелая техника. Однако для самоходных машин легкого и среднего класса, в том числе промышленных гусеничных тракторов, крайне важны показатели массы и размеров их трансмиссий и силовых блоков в целом, поэтому по результатам анализа отдано предпочтение гидравлическим передачам.

Ключевые слова: быстроходная гусеничная машина, трансмиссия, сравнительный анализ, гидрообъемные машины, электрические машины, области применения.

Трансмиссии транспортных средств принципиально отличаются от приводов станков. Хотя в обоих случаях в них присутствуют коробки передач, однако на транспортных средствах передачи нужно переключать на ходу, желательно с минимальным по времени разрывом потока мощности.

Тип трансмиссии может быть различным.

Паровая машина обладает идеальной тяговой характеристикой и вполне обходится без КП, но появление ДВС (с гораздо большим КПД) отодвинуло паровую машину в прошлое транспортного машиностроения.

Для современных транспортных машин с ДВС, с точки зрения КПД уже самой трансмиссии, безусловное преимущество имеет механическая силовая передача. Однако для них камень преткновения – переключение передач. При любом раскладе время переключения – несколько секунд, в современных КП – десятые доли секунды. Это много. За это время тяжелые машины успевают остановиться или существенно потерять скорость, а легкие машины за доли секунды проходят достаточно большое расстояние при отсутствии связи ДВС с ведущими колесами, а это – неуправляемое движение.

Именно поэтому внимание ученых и инженеров стало сосредотачиваться на бесступенчатых передачах.

В 40–80-х годах XX века шел интенсивный спор между инерционно-импульсными (ИИП) механическими передачами и гидродинамическими. Над проблемой работали целые научные школы, в том числе в Челябинске, в ЧПИ, – школа профессора М.Ф. Балжи [1, 2]. Было доказано и экспериментально подтверждено, что механические ИИП имеют высокий КПД, близкий к

100 %. Тем не менее реализовываться стали именно гидродинамические передачи, с КПД, равным в среднем 75 %. Как выяснилось, разница между ИИП и ГТ – в совместной работе с ДВС [3].

ИИП и ГТ имеют близкую к идеальной тяговой характеристику, в этом отношении они почти не уступают паровому двигателю. И обладают внутренней автоматичностью. Последнее свойство со временем проявило наряду с преимуществами, также и существенный недостаток – например, ГТ имеет только такую лопастную систему, которая «приспособлена» только к одному расчетному режиму работы ДВС.

Недостаток обеих перечисленных выше бесступенчатых передач состоит в невозможности (исключительной конструктивной сложности) внешнего регулирования.

Сейчас идет дискуссия вокруг двух типов бесступенчатых трансмиссий, лишенных недостатков ИИП и ГТ, имеющих внешнюю автоматичность. Речь идет об электрических и гидрообъемных передачах [4–13].

1. Гидрообъемные передачи

Первыми из бесступенчатых передач рассмотрим гидростатические (гидрообъемные) машины. Пользуясь информацией из открытых источников и каталогов производителей [14, 15], авторы собрали данные о характеристиках таких машин во всём диапазоне мощностей, наиболее часто или потенциально применяемых в машиностроении.

Учитывая схожесть гидравлических насосов и моторов, было принято решение об анализе обоих типов машин, так как интересующие нас зависимости масс и стоимостей таких агрегатов в соответствии с их номинальной мощностью будут справедливы как для гидромоторов, так и для гидронасосов.

Собранная информация приведена в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики гидрообъемных машин: АПН – аксиально-поршневые моторы нерегулируемые,
АПР – аксиально-поршневые моторы регулируемые

Название	PSM210.12	PSM210.250	PSM310.12	PSM310.28	PSM310.56
Тип	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН
Мощность, кВт	10	306	14,8	28,7	67,2
Момент, Н·м	Н/Д	1337	56,1	135,5	338,8
Частота вращения, об/мин	400	50	50	50	50
	2400	960	2400	1920	1800
	6000	2100	6000	4750	3750
Масса, кг	4	74,3	4	9	17
Стоимость, руб.	24000	Н/Д	24000	27000	28000

Название	PSM 310.80	PSM 310.112	PSM 310.160	PSM 310.250	PSM 410.45	PSM 410.63	PSM 410.125
Тип	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН	АПН
Мощность, кВт	80	89,6	128	160	41,2	57	75,3
Момент, Н·м	483,8	677,4	967,7	1512	219	286	599
Частота вращения, об/мин	50	50	50	50	50	50	50
	1500	1200	1200	960	1800	1800	1200
	3350	3000	2650	2100	5600	5000	4000
Масса, кг	19	29	45	65	13,5	18	32
Стоимость, руб.	42000	62000	107500	143000	Н/Д	28000	Н/Д

Название	PSM303. 12	PSM303. 28	PSM303. 55	PSM303. 80	PSM303. 107	PSM303. 160	PSM303. 250
Тип	АПР	АПР	АПР	АПР	АПР	АПР	АПР
Мощность, кВт	42	77,6	120,3	156,3	187,2	331,7	410,7
Момент, Н·м	66,8	156	306,4	445,6	596,1	891,3	1392,6
Частота вращения, об/мин	50	50	50	50	50	50	50
	2400	1920	1800	1500	1200	1200	960
	7500	6250	5000	4500	4000	3500	3100
Масса, кг	6	11,5	24	38	40	55	85
Стоимость, руб.	Н/Д	Н/Д	84000	101000	110000	180000	Н/Д

2. Электрические машины

Следующими из рассматриваемых приведены характеристики электрических машин. Причём наибольший интерес в силу конструктивных особенностей и областей применимости представляют электрические синхронные машины на постоянных магнитах (СДПМ). Этот тип силовых машин получает широкое распространение в последнее время и может рассматриваться как перспективный вид электротяги, что было бы показательно для проведения сравнений и оценки.

Также были рассмотрены и уже ставшие классическими, но не теряющие свою актуальность асинхронные двигатели (АД).

Учитывая некоторые сложности с поиском данных об электрических машинах непосредственно для машиностроения, тем более для применимости в трансмиссиях самоходных машин, в свободных источниках рассматривалось множество электромашин, используемых и в промышленных установках [16–20].

Результаты поиска данных приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики электрических машин: СДПМ – синхронные двигатели на постоянных магнитах, АД – асинхронные двигатели

Название	Baumuller MELA	Baumuller PM4	SDM TYT083	LSRPM 100L	LSRPM 200LU2	LSRPM 200L	LSRPM 200L1
Тип	СДПМ	СДПМ	СДПМ	СДПМ	СДПМ	СДПМ	СДПМ
Мощность, кВт	200	200	10	13,8	135	100	65
Момент, Н·м	445	588	Н/Д	24	287	212	138
Частота вращения, об/мин	3000	3000	11000	5500	4500	4500	4500
	6000	6000	15000				
Масса, кг	Н/Д	Н/Д	Н/Д	26	195	168	138
Стоимость, руб.	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д

Название	LSRPM 160MP	LSRPM 280SD1	PLSRPM 315LD	ТАДМ 280-310	Toyota Prius	M69 GmbH	M70 GmbH
Тип	СДПМ	СДПМ	СДПМ	АД	СДПМ	СДПМ	СДПМ
Мощность, кВт	35	240	390	182	50	120	50
Момент, Н·м	75	637	1035	1200	400	2130	1050
Частота вращения, об/мин	4500	3600	3600	3600	1200	3210	2200
					1540		
Масса, кг	60	383	800	650	45	90	34
Стоимость, руб.	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д

Окончание табл. 2

Название	АИР112 М2 У3	АИР160 S2	АИР180 М2	АИР200 L2	АМН200 L2	АМН250 S2	АМН250 М2
Тип	АД	АД	АД	АД	АД	АД	АД
Мощность, кВт	7,5	15	30	45	75	110	132
Момент, Н·м	24,7	48,8	97,4	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
Частота вращения, об/мин	2895	2930	2950	2945	2950	2960	2960
Масса, кг	41	101..132	140..190	260	336	460	520
Стоимость, руб.	13000	24000	42000	65000	97300	135000	146000

Название	АМН280 М2	АМН280 МВ4	АМН315 М4	АМН355 S4	А355 MLB4	А355 MLC4
Тип	АД	АД	АД	АД	АД	АД
Мощность, кВт	160	200	250	315	400	450
Момент, Нм	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д	Н/Д
Частота вращения, об/мин	2960	1480	1480	1480	1480	1480
Масса, кг	687	900	1220	1610	2015	2125
Стоимость, руб.	182000	228500	318000	522600	731400	810600

3. Сравнительный анализ

После того как собрана необходимая информация, необходимо произвести анализ и сравнить характеристики электрических и гидростатических машин. Наиболее интересными зависимостями для исследований является соотношение масс и стоимостей машин к их номинальным мощностям.

Сравнительная табл. 3 приведена ниже. Здесь сведены все рассматриваемые в статье образцы силовых машин по ранжиру их номинальной мощности. В табл. 3 АПН – аксиально-поршневые насосы нерегулируемые, АПР – аксиально-поршневые насосы регулируемые, АД – асинхронные двигатели, СДПМ – синхронные двигатели с постоянными магнитами.

Для наглядного анализа сравниваемых характеристик были составлены графики, приведённые ниже. График на рис. 1 описывает зависимость масс силовых машин от их номинальной мощности. График рис. 2 отображает полученную зависимость стоимости машин от их мощностей.

Важно отметить, что сравниваемые величины описывают лишь зависимости исключительно самих силовых машин, без учёта необходимого оборудования для их функционирования.

Так, например, для работы гидрообъёмной передачи будет требоваться гидросистема высокого и низкого давления, включающая в себя гидравлические магистрали, фильтры, расширительный и основной гидробаки, насосы подкачки (если не совмещены с основным насосом системы), радиаторы охлаждения, клапаны, а также сам гидронасос, обеспечивающий рабочее давление.

Для обеспечения же функционирования работы электромашин в составе трансмиссии требовалось бы наличие контроллеров, силовых и вспомогательных проводов, преобразователей, системы охлаждения, а также в зависимости от типа машины (электрическая или дизель-электрическая схема) тяговых генераторов или тяговых аккумуляторных батарей.

Поскольку массовые и габаритные характеристики всего требуемого оборудования будут зависеть не только от мощности силовой установки, но и от требований к самоходной машине, в силу поставленных перед ней задач, а также возможностей по размещению тех или иных систем во внутренних объёмах сравнение данных основного и вспомогательного оборудования гидростатических и электрических машин не приводится.

После составления графиков в абсолютных величинах были составлены зависимости в величинах относительных для более наглядного сравнения разностей между типами силовых машин.

Графики относительных зависимостей приведены на рис. 3 и 4.

Сравнительные параметры гидромашин и электромашин

Группа	Гидравлические машины				АД Электрические машины				СДПМ Электрические машины			
	Тип/Обозначение	N, кВт	m, кг	Цена, руб	Обозначение	N, кВт	m, кг	Цена, руб	Обозначение	N, кВт	m, кг	Цена, руб
15 кВт	АПН / PSM 210.12	10	4	24000	АИР112М2У3	7,5	41	13000	LSRPM100L	13,8	26	Н/Д
	АПН / PSM 310.12	14,8	4	24000	АИР160S2	15	132	24000				
35 кВт	АПН / PSM 310.28	28,7	9	27000	АИР180М2	30	190	42000	LSRPM160MP	35	60	Н/Д
50 кВт	АПН / PSM 410.45	41,2	13,5	Н/Д	АИР200L2	45	260	65000	M70Gmbh	50	34	Н/Д
	АПР / PSM 303.12	42	6	Н/Д					Toyota Prius	50	45	Н/Д
65 кВт	АПН / PSM 410.63	57	18	28000					LSRPM200L1	65	138	Н/Д
80 кВт	АПН / PSM 310.56	67,2	17	28000								
	АПН / PSM 410.125	75,3	32	Н/Д	АМН200L2	75	336	97300				
	АПР / PSM 303.28	77,6	11,5	Н/Д								
	АПН / PSM 310.80	80	19	42000								
110 кВт	АПН / PSM 310.112	89,6	29	62000	АМН250S2	110	460	135000	LSRPM200L	100	168	Н/Д
135 кВт	АПР / PSM 303.55	120,3	24	84000					M69Gmbh	120	90	Н/Д
	АПН / PSM 310.160	128	45	107500	АМН250M2	132	520	146000	LSRPM200LU2	135	195	Н/Д
160 кВт	АПР / PSM 303.80	156,3	38	101000	АМН280M2	160	687	182000				
	АПН / PSM 310.250	160	65	143000								
200 кВт	АПР / PSM 303.107	187,2	40	110000	АМН280МВ4	200	900	228500				
250 кВт					АМН315M4	250	1220	318000	LSPRM280SD1	240	383	Н/Д
330 кВт	АПН / PSM 210.250	306	74,3	Н/Д	АМН355S4	315	1610	522600				
	АПР / PSM 303.160	331,7	55	180000								
450 кВт	АПР / PSM 303.250	410,7	85	Н/Д	А355MLB4	400	2015	731400	PLSRPM315LD	390	800	Н/Д
					А355MLC4	450	2125	810600				

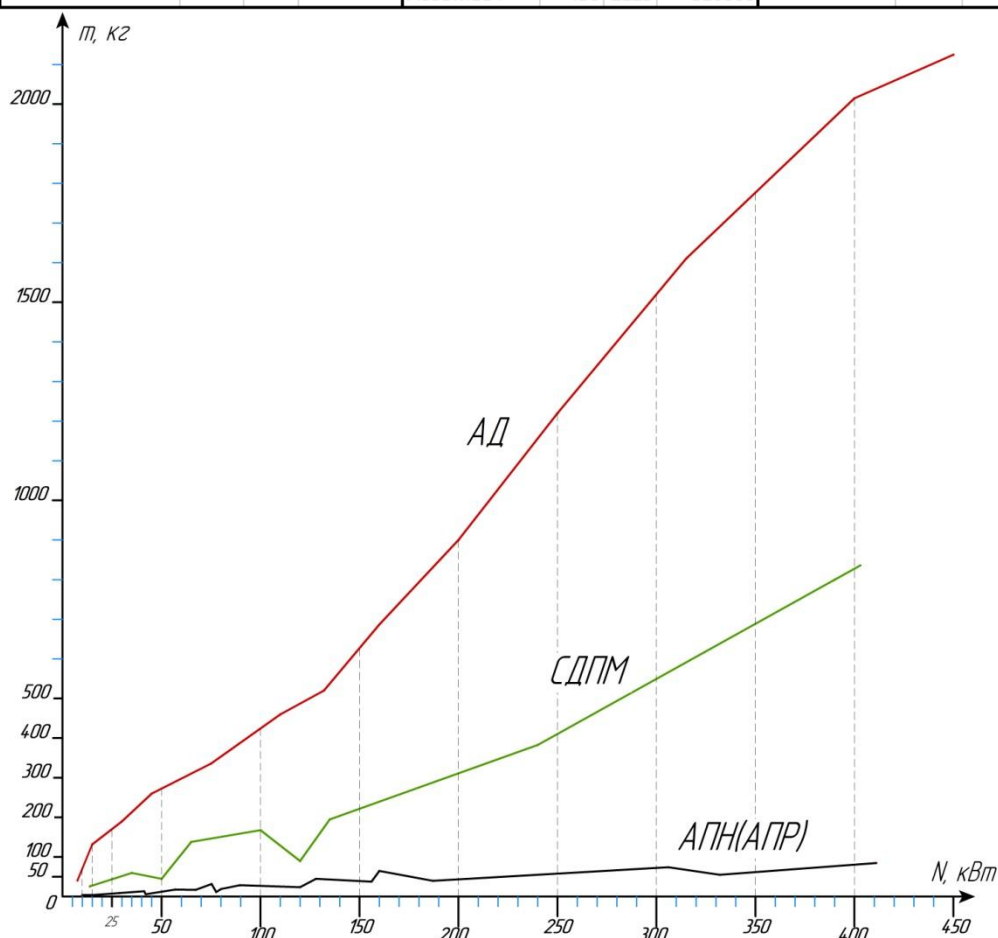


Рис. 1. График зависимости массы машин от мощности: АД – асинхронный двигатель, СДПМ – синхронный двигатель с постоянными магнитами, АПН – аксиально-поршневые моторы нерегулируемые, АПР – аксиально-поршневые моторы регулируемые

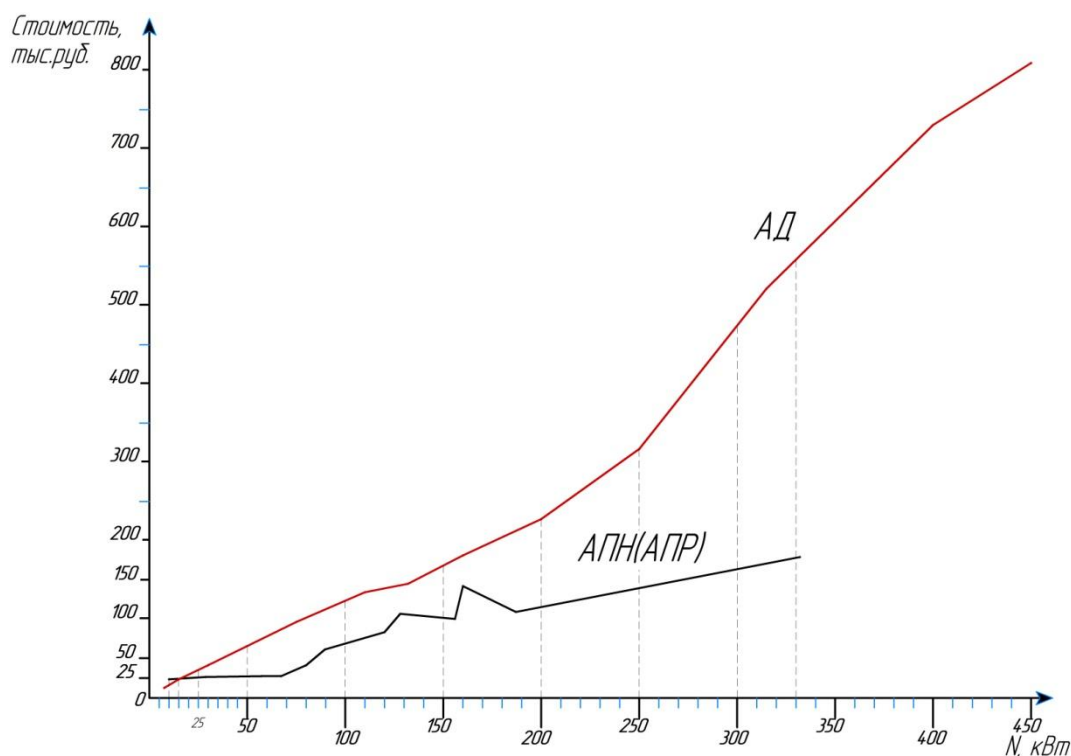


Рис. 2. График зависимости стоимости машин от мощности: АД – асинхронный двигатель, СДПМ – синхронный двигатель с постоянными магнитами, АПН – аксиально-поршневые моторы нерегулируемые, АПР – аксиально-поршневые моторы регулируемые

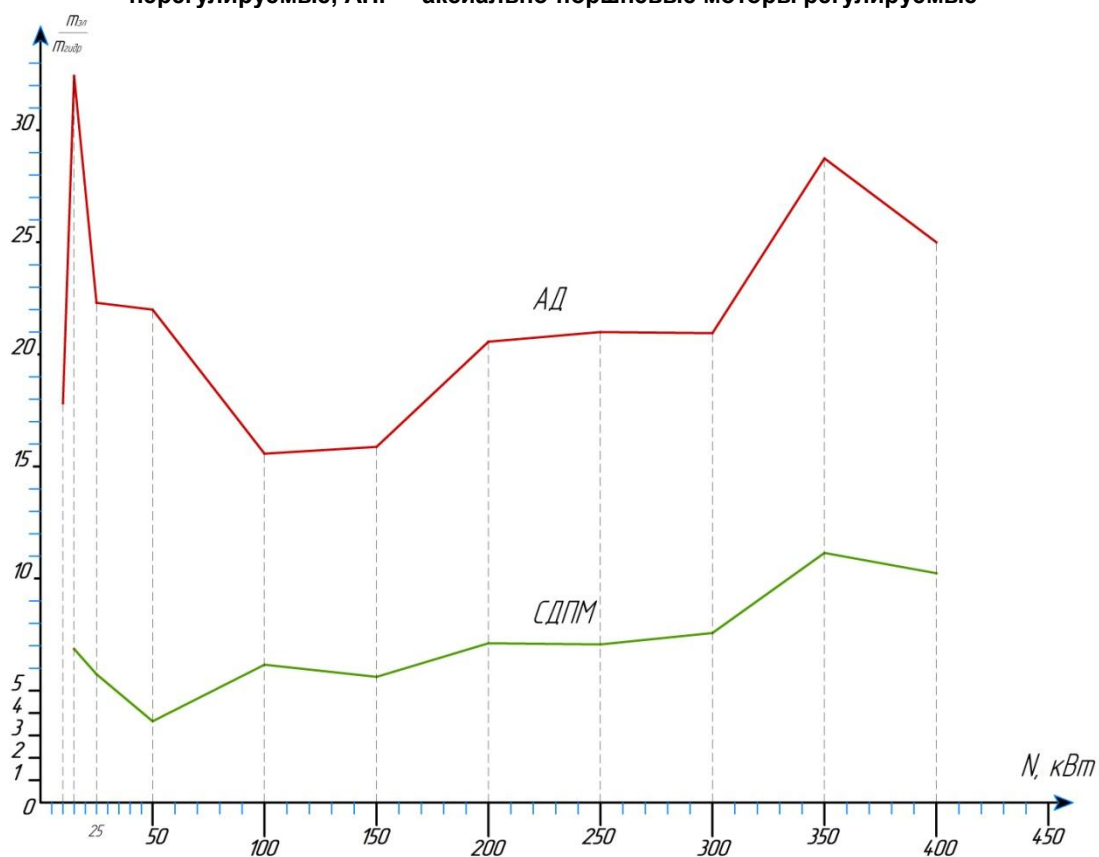


Рис. 3. График зависимости отношений масс электромашин к гидромашинам от мощности: АД – асинхронный двигатель, СДПМ – синхронный двигатель с постоянными магнитами

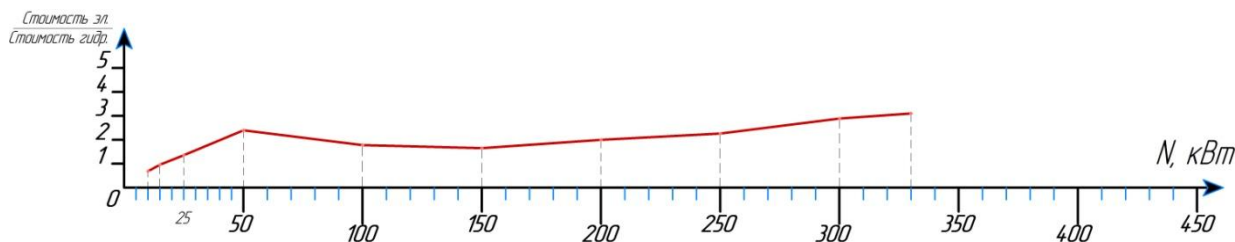


Рис. 4. График зависимости отношений стоимостей электромашин к гидромашинам от мощности

По результатам сравнения параметров асинхронных электромашин и электромашин на постоянных магнитах с аксиально-поршневыми гидромашинами получены следующие общие выводы:

1. Средняя арифметическая разница масс составила:

$$\begin{aligned} \Delta m_{\text{сдпм}} &= \frac{6,86+5,7+3,6+6,16+5,61+7,12+7,06+7,57+11,4+10,24}{10} = 7,1057 \approx 7,11; \\ \Delta m_{\text{ад}} &= \frac{17,8 + 32,4 + 22,3 + 22 + 15,5 + 15,8 + 20,5 + 21 + 21 + 28,7 + 25}{11} = 22. \end{aligned}$$

Таким образом, асинхронные машины в 22 раза тяжелее гидромашин в сравнимых параметрах мощности, в то время как двигатели на постоянных магнитах уступают гидромашинам в массе только в 7 раз.

Массы электродвигателей существенно увеличиваются с ростом их номинальных мощностей, в то время как гидравлические машины имеют значительно более пологий график роста масс от увеличения мощностей.

При максимальных сравниваемых мощностях асинхронный электродвигатель оказался в 25 раз тяжелее гидравлической машины, а СДПМ – в 10,24 раза.

2. При стоимостном сравнении учитывалась только стоимость асинхронных электромашин за неимением данных по ценам СДПМ. Так, в результате сравнения средняя арифметическая разностей стоимостей АД и гидромашин составила:

$$\Delta \text{стоимость}_{\text{ад}} = \frac{0,69 + 0,97 + 1,36 + 2,4 + 1,78 + 1,65 + 2 + 2,26 + 2,89 + 3,1}{10} = 1,91.$$

Стоит отметить, что асинхронные электромашинки оказываются более дешёвыми до значительной мощности 15...16 кВт, после этого их стоимость начинает значительно возрастать. А максимальная разница в стоимостях асинхронного двигателя и гидромашинки составила 3,1 раза (при максимальных сравниваемых величинах мощности 330 кВт).

Выводы

1. Перспективность электрических машин на фоне ряда недостатков гидравлических передач не вызывает сомнения, однако существующий технологический уровень не позволяет им занять лидирующие позиции в сравнении с гидравлическими машинами.

2. Применяемость электромашин оправдана в тех случаях, когда избыточный вес и габариты не являются критическими параметрами самоходной машины или движимого объекта. Например, железнодорожная техника, корабельные энергетические установки, строительная и дорожная тяжёлая техника и т. д.

3. Для самоходных машин лёгкого и среднего класса, в том числе для промышленных гусеничных тракторов, крайне важны показатели массы и габаритов их трансмиссий и силовых блоков, поэтому по результатам проведенного анализа предпочтение отдано гидравлическим передачам.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства «Разработка бесступенчатого дифференциального механизма поворота с системой следящего управления для внедорожных и дорожно-строительных машин нового поколения» по договору № 074-11-2018-006 от 31 мая 2018 года между Министерством образования и науки Российской Федерации и производственной компанией «Ходовые системы» совместно с главным исполнителем «НИОКТР» – Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет (Национальный исследовательский университет)».

Литература

1. Балжи, М.Ф. Инерционный бесступенчатый трансформатор крутящего момента: теория, расчет и экспериментальные исследования: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / М.Ф. Балжи; Челяб. политехн. ин-т им. Ленинского комсомола; ЮУрГУ. – Челябинск, 1962. – 36 с.
2. Балжи, М.Ф. Инерционный бесступенчатый трансформатор крутящего момента: Теория, расчет и экспериментальные исследования: дис. ... д-ра техн. наук / М.Ф. Балжи; Челяб. политехн. ин-т им. Ленинского комсомола; ЮУрГУ. – Челябинск: Б. И., 1962. – 168 с.
3. Кондаков, С.В. КПД инерционно-импульсного трансформатора крутящего момента в трансмиссии самоходного транспортного средства / С.В. Кондаков // Вестник машиностроения. – 2017. – № 8. – С. 11–16.
4. Akkaya A.V. Effect of bulk modulus on performance of a hydrostatic transmission control system / Ali Volkan Akkaya // Yildiz Technical University, Turkey. Sadhana. – 2006. – V. 31, Pt. 5. – P. 543–556.
5. Renius, K.Th. Continuously Variable Tractor Transmissions / K.Th. Renius, R. Resch // ASAE Distinguished Lecture. – 2005. – No. 29. – P. 1–37.
6. Karl-Erik Rydberg. Hydrostatic Drives in Heavy Mobil Machinery – New Concept and Development Trends. Linkoping University. SAE paper. – 1997. – No. 981989.
7. Installation and test of hydrostatic drive transmission in a government furnished M-113 vehicles. David Taylor Research Center. Monitoring organization report number DTRC-SSID-CR-6-89. – URL: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/full-text/u2/a204960.pdf>. (дата обращения 05.08.2021)
8. Lilov, I. Mathematical Modeling of Processes in the System Environment–Driver–Caterpillar Vehicle for Motion on Rout with Change-able Structure / I. Lilov, L. Lalev. – URL: http://www.actrus.ro/reviste/3_2006_eng/a15.pdf. (дата обращения 05.08.2021)
9. Rydberg, K. Hydrostatic Drives in Heavy Mobile Machinery – New Concepts and Development Trends / K. Rydberg // SAE Technical. – 1998. – P. 981989. DOI: 10.4271/981989.
10. The Automotive Transmission Book / R. Fischer, F. Küçükay, G. Jürgens et al. – Springer International Publishing Switzerland, 2015. – 355 p. DOI: 10.1007/978-3-319-05263-2
11. Singer, N.C. Preshaping Command Inputs to Reduce System Vibration / N.C. Singer, W.P. Seering // J. of Dynamic Systems, Measurement, and Control. – 1990. – Vol. 112, Iss. 1. – P. 76–82. DOI: 10.1115/1.2894142
12. Сайт «Академик» [Электронный ресурс] – <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/205084> (дата обращения 05.08.2021)
13. Что такое ГСТ? Знакомимся с гидростатической трансмиссией. Сайт РосДСТ [Электронный ресурс] – <http://rosdst.ru/news/?novost=396> (дата обращения 05.08.2021)
14. Сайт «PSM-HYDRAULICS» [Электронный ресурс] – <https://www.psm-hydraulics.ru/> (дата обращения 05.08.2021)
15. Регулируемые гидромоторы [Электронный ресурс] – https://psm-online.ru/catalog/gidromotory/reguliruemye_motory/product-17.html (дата обращения 05.08.2021)
16. Энергоэффективный синхронный двигатель с постоянными магнитами Dyneo. Сайт «Prompower» [Электронный ресурс] – <http://www.prompower.ru/katalog/elektrodvigateli/energo-effektivnyu-sinkhronnyu-dvigatel-s-postoyannymi-magnitami-dyneo/> (дата обращения 05.08.2021)
17. Электродвигатель синхронный Sicme motori серии ATEX. Сайт Ommatech. [Электронный ресурс] – https://ommatech.ru/catalog/elektrodvigateli1/dvigateli_peremennogo_toka_ac/sinkhronnye1/prochie1/elektrodvigatel_sinkhronnyu_sicme_motori_serii_atex.html (дата обращения 05.08.2021)
18. Сайт «Электродвигатели и насосы – Группа компаний “Электромотор”» [Электронный ресурс] – <http://nasoselprom.ru/price> (дата обращения 5.08.2021)

Расчет и конструирование

19. Сайт Рутком [Электронный ресурс] – https://rutcom.ru/catalog/524-elektrodvigateli/elektrodvigatel_4azm-400_6000_uh14_400kvt_3000_ob_min/?utm_campaign=99731329&utm_content=price_10510_dvigateli_peremennogo_toka&utm_medium=referral&utm_source=chel.pulscen.ru&utm_terms=168636932_20210409202234 (дата обращения 05.08.2021)

20. Электродвигатели. Сайт ВЭЛД [Электронный ресурс] – <https://veld.su/katalog/jelektrodvigateli/> (дата обращения 05.08.2021)

Кондаков Сергей Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры «Колесные и гусеничные машины», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, tanksv@mail.ru

Демешко Роман Евгеньевич, студент 6-го курса кафедры «Колесные и гусеничные машины», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, goog.man6398@gmail.com

Малаховецкий Алексей Андреевич, адъюнкт, Омский автобронетанковый инженерный институт, г. Омск, mormosets@mail.ru

Закиров Рамиль Акзамович, кандидат технических наук, директор научно-исследовательского института «Экспериментальное машиностроение», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, zakirovra@susu.ru

Подживотова Ирина Александровна, м.н.с. УНИД, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, podzhivotovaia@susu.ru

Поступила в редакцию 6 августа 2021 г.

DOI: 10.14529/engin210303

COMPARATIVE ANALYSIS OF ELECTRIC AND HYDROSTATIC MACHINES IN THE TRANSMISSIONS OF TRACKED VEHICLES

S.V. Kondakov¹, tanksv@mail.ru

R.E. Demeshko¹, goog.man6398@gmail.com

A.A. Malahovetsky², mormosets@mail.ru

R.A. Zakirov¹, zakirovra@susu.ru

I.A. Podzhivotova¹, podzhivotovaia@susu.ru

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

² Omsk Automobile and Armored Engineering Institute, Omsk, Russian Federation

The results of the analysis of existing electric and hydraulic-volume machines that are actually or potentially used as part of the transmissions of tracked vehicles, both high-speed, for example, tractors, armored vehicles, and low-speed – industrial tractors are presented. The transmissions of such machines necessarily include turning mechanisms – differential, independent and others. In modern tracked vehicles, they tend to use stepless turning mechanisms. They are built on the basis of hydro-volume and electric machines. They are similar in their external manifestations. That is why the question of the advantages and disadvantages of these alternative types of transmissions is relevant to designers and scientists dealing with the issues of continuously variable transmissions of transport and traction machines. The authors made an attempt to compare hydro-volume and electric machines according to some important criteria. Graphs of the dependences of the cost of these machines and the mass on their rated power are constructed. The final comparative graphs and conclusions about the applicability of the considered machines are formed. The use of electric machines at the moment can be justified in cases where excessive weight and dimensions are not critical parameters of a self-propelled machine, for example, railway equipment, ship power plants, construction and road heavy equipment. However, for self-propelled machines of light and medium class, including industrial tracked tractors, the mass and

size indicators of their transmissions and power units as a whole are extremely important, therefore, according to the results of the analysis, preference is given to hydraulic transmissions.

Keywords: high-speed tracked vehicle, transmission, comparative analysis, hydraulic volume machines, electric machines, applications.

References

1. Balzhi M.F. *Inertsionnyy besstupenchatyy transformator krutyashchego momenta: teoriya, raschet i eksperimental'nyye issledovaniya. Avtoref. Dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Inertial steeples torque transformer: theory, calculation and experimental research. Text of the author's abstract. Dis. ... Dr. Tech. sciences]. Chelyabinsk, 1962. 36 p.
2. Balzhi M.F. *Inertsionnyy besstupenchatyy transformator krutyashchego momenta: Teoriya, raschet i eksperimental'nyye issledovaniya. Dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Inertial stepless torque transformer: Theory, calculation and experimental research Dis. ... Dr. Tech.]. Chelyabinsk, 1962. 168 p.
3. Kondakov S.V. [The Efficiency of the Inertial-pulse Torque Transformer in the Transmission of a Self-propelled Vehicle]. *Vestnik mashinostroeniya*, 2017, no. 8, pp. 11–16. (in Russ.)
4. Ali Volkan Akkaya. Effect of bulk modulus on performance of a hydrostatic transmission control system. *Yildiz Technical University, Turkey. Sadhana*, 2006, vol. 31, pt. , pp. 543–556.
5. Renius K.Th., Resch R. Continuously Variable Tractor Transmissions. *ASAE Distinguished Lecture*, 2005, no. 29, pp. 1–37.
6. Karl-Erik Rydberg. Hydrostatic Drives in Heavy Mobil Machinery – New Concept and Development Trends. Linkoping University. *SAE paper*, 1997, No. 981989.
7. *Installation and test of hydrostatic drive transmission in a government furnished M-113 vehicles*. David Taylor Research Center. Monitoring organization report number DTRC-SSID-CR-6-89. URL: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/full-text/u2/a204960.pdf>. (date of access 05.08.2021)
8. Lilov I., Lalev L. 2006. *Mathematical Modeling of Processes in the System Environment-Driver-Caterpillar Vehicle for Motion on Rout with Change-able Structure*. URL: http://www.actrus.ro/reviste/3_2006_eng/a15.pdf. (date of access 05.08.2021)
9. Rydberg K. Hydrostatic Drives in Heavy Mobile Machinery – New Concepts and Development Trends. *SAE Technical*, 1998, p. 981989. DOI: 10.4271/981989.
10. Fischer R., Küçükay F., Jürgens G. et al. *The Automotive Transmission Book. Springer International Publishing Switzerland*, 2015. 355 p. DOI: 10.1007/978-3-319-05263-2
11. Singer N.C., Seering W.P. Preshaping Command Inputs to Reduce System Vibration. *J. of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, 1990, vol. 112, iss. 1, pp. 76–82. DOI: 10.1115/1.2894142
12. Website “Academician” [Electronic resource]. <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/205084> (date of access 05.08.2021)
13. *What is the GTS? Let's get acquainted with the hydrostatic transmission*. RosDST website [Electronic resource]. <http://rosdst.ru/news/?novost=396> (date of access 05.08.2021)
14. Website «PSM-HYDRAULICS» [Electronic resource]. <https://www.psm-hydraulics.ru/> (date of access 05.08.2021)
15. *Adjustable motors* [Electronic resource]. https://psm-online.ru/catalog/gidromotory/reguliruemye_motory/product-17.html (date of access 05.08.2021)
16. *Energy efficient Dyneo permanent magnet synchronous motor*. Website «Prompower» [Electronic resource]. <http://www.prompower.ru/catalog/elektrodvigateli/energoeffektivnyy-sinkhronnyy-dvigatel-s-postoyannymi-magnitami-dyneo/> (date of access 05.08.2021)
17. *Electric motor synchronous Sicme motori ATEX series*. Website Ommatex. [Electronic resource]. https://ommatech.ru/catalog/elektrodvigateli1/dvigateli_peremennogo_toka_ac/sinkhronnye1/prochie1/elektrodvigatel_sinkhronnyy_sicme_motori_serii_atex.html (date of access 05.08.2021)
18. Website “Electric motors and pumps – Group of companies” Electromotor [Electronic resource]. <http://nasoselprom.ru/price> (date of access 05.08.2021)

Расчет и конструирование

19. Website Rutcom [Electronic resource]. https://rutcom.ru/catalog/524-elektrodvigateli/elektrodvigatel_4azm-400_6000_uhl4_400kvt_3000_ob_min/?utm_campaign=99731329&utm_content=price_10510_dvigateli_peremennogo_toka&utm_medium=referral&utm_source=chel.pulscen.ru&utm_terms=168636932_20210409202234 (date of access 05.08.2021)

20. Electric motors. VELD website [Electronic resource]. <https://veld.su/katalog/jelektrodvigateli/> (date of access 05.08.2021)

Received 6 August 2021

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Сравнительный анализ электрических и гидростатических передач в составе трансмиссий гусеничных машин / С.В. Кондаков, Р.Е. Демешко, А.А. Малаховецкий и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2021. – Т. 21, № 3. – С. 34–44. DOI: 10.14529/engin210303

FOR CITATION

Kondakov S.V., Demeshko R.E., Malahovetsky A.A., Zakirov R.A., Podzhivotova I.A. Comparative Analysis of Electric and Hydrostatic Machines in the Transmissions of Tracked Vehicles. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2021, vol. 21, no. 3, pp. 34–44. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin210303
