

Литература

1. <http://commi.narod.ru/txt/1990/0216.htm>
2. <http://pentagonus.ru/publ/23-1-0-761>

УДК 69.05–82–229.384

Материалоемкость дорожно-строительных машин

Котлобай А. А., Котлобай А. Я., Волчкович А. В.
Белорусский национальный технический университет

Аннотация. Одним из направлений повышения конкурентоспособности дорожно-строительных машин является снижение материалоемкости, в том числе, «использованием в кинематических схемах прогрессивных приводов» [1, 2].

Рассмотрим удельную стоимость основных типов дорожно-строительных машин различных производителей (таблица 1) [3], насосов и насосных агрегатов (таблица 2) [4], представленных на рынке Российской Федерации. В первом приближении удельная стоимость определяется как отношение рыночной стоимости машины, агрегата к ее массе.

Таблица 1

Удельная стоимость дорожно-строительных машин

Марка машины		Полная масса, кг	Стоимость, RUR. 2017-2018	Удельная и средняя удельная стоимость, RUR/кг	
1		2	3	4	
<i>Бульдозер гусеничный, трактор гусеничный</i>					
«Беларус»	МТЗ-1502	15000	3800000	253,3	215,1
	МТЗ-2103	12015	4200000	349,6	
ЧТЗ	Б10М	21250	3700000	174,1	
	Б12	24520	4300000	175,4	
	Т-170	16000	2500000	156,3	
	Т-10М	17600	3200000	181,8	
<i>Самосвал</i>					
МАЗ	4570	5590	2000000	357,8	296,9
	5550	8125-8725	2500000	286,5-307,7	
	6501	8125-8725	3600000	249,6-289,7	
	6516	14825-16200	4000000	249,6-289,7	

продолжение таблицы 1

1		2	3	4	
КамАЗ	New 43255	6900	2600000	376,8	
	New 6511	11050	3800000	343,9	
	6511	11050	2400000	217,2	
<i>Шасси</i>					
МАЗ	4570	4150	1800000	433,7	337,4
	5550	6726-6775	2000000	295,2-297,4	
	6501	9425-9475	3000000	316,6-318,3	
	6516	11425	3500000	306,3	
КамАЗ 43255		5450	2150000	394,5	
<i>Экскаватор гусеничный</i>					
Амкодор ЭО-3223		15900	7500000	471,7	334,6
ТВЕХ TX 210		22500-23600	7500000	317,8-333,3	
Komatsu	PS200-8	19800-21700	7000000	322,6-353,5	
	PS300-8	31100-32580	8000000	245,5-257,2	
	PS400-7	41400-43300	15000000	346,4-363,3	
<i>Экскаватор колесный</i>					
Амкодор EW-1400		14900	7000000	469,8	412,1
ТВЕХ	ЕК-12	12900	4400000	341,0	
	ЕК-14	14900	5100000	342,3	
	ЕК-18	18400	5400000	293,5	
	140W	14400	6300000	428,6	
	180W	17600	6600000	375,0	
	WX-200	22300	8900000	399,1	
Hyundai	R140W-9S	14700	7250000	493,2	
	R180W-9S	18420	8700000	472,3	
	R210W-9S	20690	10500000	507,5	
<i>Фронтальный погрузчик</i>					
Амкодор	332	10600-10900	3500000	321,1-330,2	394,0
	342	13500	3000000	222,2	

продолжение таблицы 1

1		2	3	4		
	352	14000-15700	4800000	305,7-342,9		
Komatsu	WA380-6	16540-16850	7000000	415,4-423,2		
	WA420-3	18280	8000000	437,6		
	WA470-6	22880-23110	10000000	432,7-437,1		
Hyundai	HL760-9S	17600	9000000	511,4		
	HL770-9S	22500	11000000	488,9		
	HL780-9S	29500	16000000	542,4		
JCB	426 ZX	12850	5000000	428,0		
	455 ZX	17800	7000000	393,3		
	467 ZX	23890-24124	8000000	331,6-334,9		
<i>Экскаватор-погрузчик</i>						
Амкодор	702	7100	2000000	309,9	535,1	
	732	9100	4000000	472,5		
Terex	TLB 825	7600	4000000	565,8		
	860 SX	7370	3000000	434,2		
	970 Elite	7537	4000000	557,3		
Hyundai	H940S	8900	5000000	561,8		
	H930S	7750	4000000	580,6		
JCB	3CX	7800	5000000	641,0		
	4CX	8660	6000000	692,8		
<i>Малогабаритный погрузчик пневмоколесный</i>						
Амкодор 211		3800	3000000	842,1	885,8	
Ko-matsu	SK714-5	2530	2000000	790,5		
	SK820-5	3080	3000000	1136,4		
Hyundai HSL650-7A		2690	2000000	743,5		
JCB	155	2844	2000000	879,0		
	175	3011	2000000	930,0		
	300	4067	3000000	860,6		
	330	4203	3000000	904,1		
<i>Малогабаритный погрузчик гусеничный</i>						
JCB	150T	3851	2000000	649,2		638,2
	300T	4836	3000000	620,3		
	320T	4961	3000000	645,0		

продолжение таблицы 1

1		2	3	4	
<i>Малогабаритный экскаватор-погрузчик пневмоколесный</i>					
JCB 1СХТ		3158-3254	3000000	921,9-950,0	936,0
JCB	8025 ZTS	2806-2833	3000000	1058,9-1069,1	1037,3
	8030 ZTS	3217	3000000	994,7	
Komatsu PCO1-1		380	390000	1026,3	

Таблица 2

Удельная стоимость насосов и насосных агрегатов

Гидромашина	Масса, кг	Стоимость, RUR	Удельная стоимость, RUR/кг	Средняя удельная стоимость, RUR/кг
1	2	3	4	5
<i>Насосы шестеренные нерегулируемые типа НШ</i>				
10У-3	1,9	860	452,6	441,2
16Г-3	2,9	1388	478,6	
32УК-3	4,0	1428	357,0	
50А-3	7,1	3243	456,8	
100А-3	16,5	5001	303,1	
250-4	43,6	26124	452,6	
<i>Насосы аксиально-поршневые нерегулируемые типа 310</i>				
210.12	4,0	16756	4189,0	4387,6
310.12	4,0	17841-18054	4460,3-4513,5	1549,1
310.2.28	9,0	18585-20626	2065,0-2291,8	
310...56	17,0	20296-27694	1193,9-1629,1	
310.4.80	19,2	28933-32155	1506,9-1674,7	
310...112	29,0	31470-39648	1085,2-1367,2	
310...160	45,0	59991-85532	1333,1-1900,7	
310...250	65,0	82600	1270,8	
<i>Насосы аксиально-поршневые регулируемые типа 313</i>				
313.12	9,0	30208	3364,4	3364,4
313.2.28	15,5	34456-38409	2223,0-2478,0	2023,9
313.3.55	24,0	53808-57820	2242,0-2409,2	
313.56	22,0	53808	2445,8	
313.4.80	38,0	61360-65136	1614,7-1714,1	
313.3.107	40,0	73455-85550	1836,4-2138,8	
313...112	37,5	73455	1958,8	
313.160	55,0	100064-103840	1819,3-1888,0	
313.4.250	85,0	142308-146320	1674,2-1721,4	

продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
<i>Насосы аксиально-поршневые регулируемые типа 416</i>				
416.0.28	25,0	52392	2095,7	2095,7
416.0.71	67,0	62776	937,0	951,7
416.0.90	67,0	69030	1030,3	
416.0.112	80,0	71626	895,3	
416.0.125	80,0	75520	944,0	
<i>Насосные агрегаты</i>				
233...28	40,0	86930	2173,3	1845,7
233...56	74,0	95934	1296,4	
333...56	74,0	134508	1817,7	
333...55	74,0	159807	2159,6	
223...80	88,0	94352	1072,2	
333...80	88,0	164787-165200	1872,6-1877,3	
333...107	110,0	195408-253110	1776,4-2301,0	
233...112	110,0	147635-160267	1342,1-1457,0	
333...112	110,0	186109	1691,9	
353...112	224,0	291460	1301,2	
233...160	155,0	186516	1203,3	
333...160	155,0	263305-281666	1698,7-1817,2	
<i>Универсальные насосные агрегаты</i>				
УНА 1	138,0	191962	1391,0	1612,8
УНА 4	80,0	142225	1777,8	
УНА 5	137,0	200470	1463,3	
УНА 8А	170,0	269547	1585,6	
УНА 9, УНА 10, УНА 11, УНА 12, УНА 14	170,0	313844	1846,1	

Минимальными значениями удельной стоимости располагают гусеничные бульдозеры, тракторы производства ЧТЗ-УРАЛТРАК, МТЗ, самосвалы производства МАЗ. Это объясняется комплектованием машин агрегатами, крупносерийное производство которых налажено на производственных мощностях отечественных производителей. Удельная стоимость шасси автомобилей повышается за счет отсутствия относительно недорогого оборудования самосвалов.

Удельная стоимость рассмотренных моделей экскаваторов гусеничных близка к удельной стоимости рассмотренных моделей автомобильных шасси, что объясняется наличием в конструкции гусеничного шасси и технологического оборудования экскаваторов металлоемких комплектующих относительно не высокого технологического уровня.

Удельная стоимость колесных экскаваторов близка удельной стоимости гусеничных экскаваторов производства Российской Федерации. Удельная стоимость экскаваторов «Амкодор EW-1400» выше удельной стоимости экскаваторов «ТВЕХ», что объясняется ограниченной серийностью экскаватора. Повышенная удельная стоимость колесных экскаваторов «Hyundai» объясняется наличием в конструкции шасси, технологического оборудования, систем управления высокотехнологичных компонентов.

Удельная стоимость фронтальных погрузчиков аналогична удельной стоимости экскаваторов колесных. Это объясняется соизмеримыми технологическими уровнями колесных шасси, технологического оборудования, систем управления.

Повышение удельной стоимости экскаваторов-погрузчиков связано с расширением гаммы технологического оборудования, реализованного на базе высокотехнологичных компонентов систем приводов, управления. Кроме того, экскаваторы-погрузчики часто используют в качестве базового шасси, серийно выпускаемые и доработанные тракторы, трансмиссии которых, рассчитанные на работу в тяговом режиме с гаммой сменного рабочего оборудования, сложны, избыточны и дороги для экскаваторов-погрузчиков, работающих в ином режиме.

Удельная стоимость малогабаритных погрузчиков, экскаваторов, экскаваторов-погрузчиков колесных и гусеничных увеличивается во всех рассмотренных моделях различных производителей. Это объясняется тем, что система приводов ходового и технологического оборудования сформирована на базе современных высокотехнологичных гидравлических агрегатов при уменьшении доли низко технологичных конструкций в общей массе машины. Кроме того, серийность этих машин не высока.

Удельная стоимость насосов шестеренных, широко используемых в гидронавесных системах тракторов, дорожно-строительных машин – минимальна среди остальных насосов, и находится в диапазоне удельной стоимости ряда дорожно-строительных машин.

Удельная стоимость аксиально-поршневых насосов не регулируемых, регулируемых, насосных агрегатов, в том числе универсальных, превышает удельную стоимость насосов шестеренных в 2–4 раза, а по некоторым моделям и более.

Проведенный анализ показал, что удельная стоимость насосных установок приводов ходового и рабочего оборудования дорожно-строительных машин существенно превышает аналогичный показатель всех рассмотренных машин различных производителей.

Основные технические решения по наиболее востребованным типам машин отработаны. Снижение материалоемкости, как направление повышения конкурентоспособности дорожно-строительных машин, может про-

водиться в направлении оптимизации параметров материалоемкости гидравлических агрегатов систем приводов ходового и технологического оборудования дорожно-строительных машин. Например, одним из направлений модернизации гидропривода одноковшовых полноповоротных экскаваторов является замена двухпоточных насосов на насосные агрегаты, состоящие из редуктора привода насосов и серийно выпускаемых насосов производства профильных предприятий России. Замена двухпоточных насосов насосными агрегатами позволяет оптимизировать параметры материалоемкости гидросистем привода ходового и рабочего оборудования экскаваторов.

Одной из наиболее объективных сравнительных характеристик машин является их удельная материалоемкость [6]. Этот показатель определяется отношением массы машины, агрегата к значению ее главного параметра. Главным параметром насосного агрегата является его рабочий объем.

Материалоемкость насоса (насосного агрегата) можно оценить относительным параметром – удельной материалоемкостью насоса (насосного агрегата):

$$m_{y\partial} = M_n / q_n, \quad m_{y\partial cp} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n m_{y\partial i},$$

где $m_{y\partial}$ – удельная материалоемкость насоса (насосного агрегата), кг/м³;

M_n – масса насоса (насосного агрегата) без рабочей жидкости, кг;

q_n – номинальный рабочий объем насоса (насосного агрегата), м³;

i – номер анализируемого насоса (насосного агрегата), $i = 1 \dots n$;

n – число насосов (насосных агрегатов) в анализируемой линейке.

Удельная материалоемкость насосов (насосных агрегатов), применяемых в гидросистемах приводов ходового и рабочего оборудования дорожно-строительных машин [6] приведена в таблице 3.

Таблица 3

Удельная материалоемкость насосов

Параметр	Насос нерегулируемый типа НШ					
	10У-3	16Г-3	32УК-3	50А-3	100А-3	250-4
$q_n, 10^{-6} \text{ м}^3$	10	16	32	50	100	250
$M_n, \text{ кг}$	1,9	2,9	4,0	7,1	16,5	43,6
$m_{y\partial}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,19	0,18	0,13	0,14	0,17	0,17
$m_{y\partial cp}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,16					

Параметр	Насос аксиально-поршневой нерегулируемый							
	типа 210		типа 310					
	12	28	28	56	80	112	160	250
$q_n, 10^{-6} \text{ м}^3$	11,6	28,1	28,0	56,0	80,0	112,0	160,0	250,0
$M_H, \text{ кг}$	4,0	8,1	9,0	17,0	19,2	29,0	45,0	65,0
$m_{\text{вд}}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,34	0,29	0,32	0,30	0,24	0,26	0,28	0,26
$m_{\text{вдср}}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,29							
Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый							
	типа 207	типа 313						
	55	55	56	107	112	160	250	
$q_n, 10^{-6} \text{ м}^3$	54,8	55,0	56,0	107,0	112,0	160,0	250,0	
$M_H, \text{ кг}$	30,0	24,0	22,0	40,0	37,5	55,0	85,0	
$m_{\text{вд}}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,55	0,44	0,39	0,37	0,33	0,34	0,34	
$m_{\text{вдср}}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,55	0,37						
Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый типа 416							
	028	028	028	028	028			
$q_n, 10^{-6} \text{ м}^3$	28	71	90	110	125			
$M_H, \text{ кг}$	25	67	67	80	80			
$m_{\text{вд}}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,89	0,94	0,74	0,73	0,64			
$m_{\text{вдср}}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,92			0,70				
Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый многопоточный							
	на базе насосов типа 207			на базе насосов типа 313				
	223.20	223.25	321.224A	323.20	333.20			
$q_n, 10^{-6} \text{ м}^3$	54,8+54,8	107+107	112+112	56+56	56+56+28			
$M_H, \text{ кг}$	162,0	320,0	280,0	90,0	100,0			
$m_{\text{вд}}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	1,48	1,50	1,25	0,80	0,71			
$m_{\text{вдср}}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	1,41			0,76				
Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый двухпоточный «BOSCH-Rexroth» серия A8VO							
	54,8+54,8	80+80	107+107	140+140	200+200			
$q_n, 10^{-6} \text{ м}^3$	54,8+54,8	80+80	107+107	140+140	200+200			
$M_H, \text{ кг}$	82,0	90,0	116,0	146,0	180,0			
$m_{\text{вд}}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,75	0,56	0,54	0,52	0,45			
$m_{\text{вдср}}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,56							

Параметр	Агрегат насосный многопоточный				
	333.3.55. 100.220	УНА-4: 333.3.56. 000.660	333.4.107. 100.880	УНА-1: 323.4.112. 120.77	УНА-5: 323.3.11 2. 020.77
$q_{из}, 10^{-6} \text{ м}^3$	55+55+12	56+56+12	107+107+12	112+112	112+112
$M_{из}, \text{ кг}$	74,0	80,0	132,0	138,0	137,0
$m_{вод}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,62	0,66	0,59	0,62	0,61
$m_{водсп}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,62				

Анализ результатов расчета удельной материалоемкости насосов (насосных агрегатов) (см. таблица 3) показывает минимальную материалоемкость шестеренных насосов. Усложнение конструктивной схемы насоса (насосного агрегата) приводит к увеличению его удельной материалоемкости. Так, удельная материалоемкость аксиально-поршневого насоса нерегулируемого типа 210, 310 выше удельной материалоемкости насоса нерегулируемого типа НШ на 82 %; удельная материалоемкость аксиально-поршневого насоса регулируемого типа 313 выше удельной материалоемкости насоса нерегулируемого типа 210, 310 на 28 %; удельная материалоемкость аксиально-поршневого насоса регулируемого типа 207 выше удельной материалоемкости насоса нерегулируемого типа 210, 310 на 90 %. Это свидетельствует о рациональности конструктивной схемы насоса типа 313 по параметру материалоемкости. Разность значений удельной материалоемкости насосов регулируемого и нерегулируемого позволит оценить удельную материалоемкость систем регулирования и автоматики насоса. Удельная материалоемкость насосов регулируемых с наклонной шайбой типа 416 выше удельной материалоемкости насосов типа 313 на 67–89 %, что объясняется сложной системой управления насосом и наличием насоса подпитки для работы в закрытом контуре.

Многопоточные насосы, широко применяемые в системах приводов ходового и технологического оборудования ДСМ, в частности в системах приводов одноковшовых полноповоротных экскаваторов, имеют различные параметры удельной материалоемкости, определяемые конструктивной схемой многопоточного насоса. Разность значений удельной материалоемкости многопоточных и однопоточных насосов позволит оценить удельную материалоемкость систем приводов насосов в составе многопоточного насоса. Удельная материалоемкость двухпоточных насосов 223.20, 223.25, 321.224А, созданных на базе насосов типа 207 выше удельной материалоемкости насоса однопоточного типа 207 на 156 % (удельная материалоемкость приводов насосов 0,86); удельная материалоемкость этих же насосов выше удельной материалоемкости насоса типа 313

на 281 %. Удельная материалоемкость многопоточных насосов 323.20, 333.20, созданных на базе насосов типа 313 выше удельной материалоемкости однопоточных насосов типа 313 на 105 % (удельная материалоемкость приводов насосов 0,39).

Анализ соотношения удельной материалоемкости насосов аксиально-поршневых регулируемых двухпоточных «BOCH-Rexroth» серии A8VO и однопоточных насосов серии 313 показал, что удельная материалоемкость двухпоточных насосов серии A8VO выше удельной материалоемкости насосов типа 313 на 51 %. Удельная материалоемкость насосных агрегатов, созданных на базе насосов типа 313, выше удельной материалоемкости однопоточных насосов типа 313 на 68 % (удельная материалоемкость приводов насосов 0,25). Насосные агрегаты на базе насосов типа 313 создавались в качестве альтернативы многопоточным насосам 223.20, 223.25, 321.224А.

Одним из возможных направлений снижения материалоемкости насосных агрегатов гидравлических приводов ходового и рабочего оборудования является модульный подход создания типоразмерных рядов регулируемых насосов на базе типоразмерного ряда шестеренных насосов постоянного объема и типоразмерных рядов гидрораспределительных модулей [7, 8, 9, 10], обеспечивающих изменение эффективного объема насосного агрегата и реверсирование потока рабочей жидкости. Разработка и развитие гидрораспределительных модулей различной конфигурации в совокупности с возможностями тандемирования шестеренных насосов обеспечит создание мало материалоемких, дешевых систем отбора мощности двигателя базовой машины на привод ходового и технологического оборудования.

Литература

1. Дорожно-строительные машины и комплексы : учебник для вузов по спец. «Строительные и дорожные машины и оборудование» / В. И. Баловнев, А. Б. Ермилов, А. Н. Новиков и др.; под общ. ред. В. И. Баловнева. – М. : Машиностроение, 1988. – 384 с.
2. Леонович, И. И. Машины для строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог: учебник / И. И. Леонович, А. Я. Котлобай. – Минск : БНТУ, 2005. – 552 с.
3. Коммерческий транспорт и техника на IronHorse.RU. Интернет ресурс «truck.ironhorse.ru». 2019.
4. Прайс-лист ООО «Компания Драйв» Мобильная и промышленная гидравлика. – Екатеринбург. – Интернет ресурс «drive@r66.ru».
5. Гост 27782-88. Материалоемкость изделий машиностроения. Термины и определения.

6. Котлобай, А.А. Направления снижения материалоемкости приводов оборудования дорожно-строительных машин / А.А. Котлобай // Автомобильные дороги и мосты. – 2019. № 1 (23). – С. 73 – 83.

7. Котлобай, А. Я. Модернизация шестеренных насосов приводов оборудования инженерных машин / А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай // Инженер-механик. – 2019. – №4 (85). – С. 17–20.

8. Котлобай, А. Я. Насосы шестеренные регулируемые гидравлических приводов оборудования инженерных машин / А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай // Инженер-механик. – 2020. – №1 (86). – С. 10–14.

9. Котлобай, А. Я. Объемная гидропередача отдельно агрегатная на базе двухсекционных шестеренных гидромашин / А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай // Инженер-механик. – 2019. – №3 (84). – С. 5–9.

10. Насос шестеренный: пат. 12158 U, Республика Беларусь, МПК F 15B 11/00 (2006.01) / А. И. Герасимюк, С. И. Воробьев, Д. И. Кузнецов, А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай (BY). № u 20190068; заявл. 2019.03.21; опубл. 2019.12.30 // Афіцыйны бюл. Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2019. – № 6.

УДК 69.05–82–229.384

Моно агрегатная гидропередача привода ходового оборудования инженерной машины

Котлобай А.Я., Котлобай А.А., Юнусов Ю.Ш., Позняк С.А.
Белорусский национальный технический университет

В настоящее время предприятиями транспортного машиностроения ведется поиск рациональных направлений развития приводов ходового оборудования транспортно-тяговых машин, роботизированных систем 154ан-на154ального назначения. Активно развиваются объемные гидропередачи (ОГП) в приводах ходового оборудования мобильных тягово-транспортных машин. Поиск рациональных структурных решений ОГП позволил условно разделить структуры ОГП на основе степеней свободы элементов насоса и гидромотора [1]. Рассмотрим пример реализации ОГП с неподвижными элементами насоса (рисунок 1) [1].