

НАПРАВЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛОЕМКОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ МАШИН

Вавилов А. В., проф., д.т.н., Котлобай А. А., ст. преп., Котлобай А. Я., доц., к.т.н.
Белорусский национальный технический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail ftkcdm@bntu.by

SOME WAYS TO REDUCE THE MATERIAL CAPACITY OF THE MACHINES' WORKING EQUIPMENT HYDRAULIC DRIVING SYSTEMS

Vavilov A. V., Prof., D.Sc., Katlabai A. A., lecturer, Katlabai A. Ja., Assoc. Prof., PhD
Belarussian national technical university
(Minsk, Republic of Belarus)

In the work given the relative parameters of the material consumption and the cost of the pumping units for multi-motor driving systems – the specific mass and cost are proposed. These parameters allow us to evaluate the basic design solutions of the pumping units by the criteria of material consumption and cost. The direction of creating multi-flow pumping units based on a single pump and a flow divider installed between the pump and the drive mechanism or integrated into the pump design was proposed and justified.

Эффективность работы лесной машины напрямую зависит от числа рабочих органов, одновременно выполняющих технологические операции. При невозможности объединения необходимого технологического оборудования в одной специализированной машине, комплект дополняют специализированные, либо универсальные технологические машины, выполняющие отдельные технологические операции, увеличивая приведенные затраты на проведение всего комплекса работ.

В настоящее время наиболее перспективным типом передачи мощности от двигателя к рабочему оборудованию лесных машин, выпускаемых малыми сериями, является объемный гидропривод ходового и рабочего оборудования. При реализации многомоторных приводов ведущие компании – производители гидравлической аппаратуры не уделяют внимания поиску новых принципов и развитию конструкций делителей–сумматоров потоков рабочей жидкости насосов, предпочитая выпуск более материалоемких и дорогих многопоточных насосов, насосных агрегатов и делителей потока объемного типа, на базе освоенных в производстве насосов и гидромоторов.

При оценке материалоемкости лесной машины исходим из того, что общая материалоемкость машины формируется за счет суммирования материалоемкости всех комплектующих агрегатов. Анализ состояния вопроса показал, что основные технические решения по наиболее востребованным типам лесных машин отработаны. Разработки проводятся в направлении оптимизации параметров рабочего оборудования и гидравлических систем отбора мощности на привод рабочих органов. Рассмотрим материалоемкость насосного агрегата – основной составляющей системы отбора мощности на привод ходового и рабочего оборудования.

Основным параметром насосного агрегата является его рабочий объем. Оценим материалоемкость насосного агрегата относительным параметром – удельной массой насосного агрегата:

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

где $m_{y\partial}$ – удельная масса насосного агрегата, кг/м³; M_n – масса насосного агрегата без рабочей жидкости, кг; q_n – номинальный рабочий объем насосного агрегата, м³; i, n – номер и число анализируемых насосных агрегатов.

Таблица 1 – Материалоемкость насосных агрегатов

Параметр	Насос нерегулируемый типа НШ [1]							
	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		
$m_{y\delta}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,19	0,18	0,13	0,14	0,17	0,17		
$m_{y\delta,cp}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,16							
Параметр	Насос аксиально-поршневой нерегулируемый [2]							
	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
$M_n, \text{ кг}$	4,0	8,1	9,0	17,0	19,2	29,0	45,0	65,0
$m_{y\delta}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,34	0,29	0,32	0,30	0,24	0,26	0,28	0,26
$m_{y\delta,cp}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,29							
Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый [2], [3]							
	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	
$M_n, \text{ кг}$	30,0	24,0	22,0	40,0	37,5	55,0	85,0	
$m_{y\delta}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,55	0,44	0,39	0,37	0,33	0,34	0,34	
$m_{y\delta,cp}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,55	0,37						
Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый многопоточный [4], [5]							
	на базе насосов типа 207			на базе насосов типа 313				
	223.20	223.25	321.224А	323.20	333.20			
$q_n, 10^{-6} \text{ м}^3$	54,8+54,8	107+107	112+112	56+56	56+56+28			
$M_n, \text{ кг}$	162,0	320,0	280,0	90,0	100,0			
$m_{y\delta}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	1,48	1,50	1,25	0,80	0,71			
$m_{y\delta,cp}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	1,41			0,76				
Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый двухпоточный «BOSCH-Rexroth» серия А8VO [6]							
	54,8+54,8	80+80	107+107	140+140	200+200			
	82,0	90,0	116,0	146,0	180,0			
$q_n, 10^{-6} \text{ м}^3$	54,8+54,8	80+80	107+107	140+140	200+200			
$M_n, \text{ кг}$	82,0	90,0	116,0	146,0	180,0			
$m_{y\delta}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,75	0,56	0,54	0,52	0,45			
$m_{y\delta,cp}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,56							
Параметр	Агрегат насосный многопоточный [2]							
	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: 323.3.112. 020.77			
	55+55+12	56+56+12	107+107+12	112+112	112+112			
$q_n, 10^{-6} \text{ м}^3$	55+55+12	56+56+12	107+107+12	112+112	112+112			
$M_n, \text{ кг}$	74,0	80,0	132,0	138,0	137,0			
$m_{y\delta}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,62	0,66	0,59	0,62	0,61			
$m_{y\delta,cp}, 10^{-6} \text{ кг/м}^3$	0,62							

Анализ результатов расчета материалоемкости насосных агрегатов (см. таблица 1) показывает, что усложнение конструктивной схемы приводит к увеличению удельной массы. Так, удельная масса аксиально-поршневого насоса нерегулируемого типа 210, 310 выше удельной массы насоса нерегулируемого типа НШ на 82%. Удельная масса аксиально-поршневого насоса регулируемого типа 313 выше удельной массы насоса нерегулируемого типа 210, 310 на 28%, и аналогично, увеличение удельной массы аксиально-поршневого насоса регулируемого типа 207 выше удельной массы насоса нерегулируемого типа 210, 310 на 90%, что свидетельствует о рациональности конструктивной схемы насоса типа 313 по параметру материалоемкости. Разность значений удельной массы насосов регулируемого и нерегулируемого позволит оценить удельную массу систем регулирования и автоматики насоса.

Многопоточные насосы, широко применяемые в системах приводов ходового и технологического оборудования лесных машин, имеют различные параметры удельной массы, определяемые конструктивной схемой многопоточного насоса. Удельная масса двухпоточных насосов 223.20, 223.25, 321.224А, созданных на базе насосов типа 207 выше удельной массы насоса однопоточного типа 207 на 156% (удельная масса приводов насосов 0,86), и удельная масса этих насосов выше удельной массы насоса типа 313 на 281%. Удельная масса многопоточных насосов 323.20, 333.20, созданных на базе насосов типа 313 выше удельной массы однопоточных насосов типа 313 на 105% (удельная масса приводов насосов 0,39). Анализ соотношения удельной массы насосов аксиально-поршневых регулируемых двухпоточных «BOCH-Rexroth» серии А8V0 и однопоточных насосов серии 313 показал, что удельная масса двухпоточных насосов серии А8V0 выше удельной массы насосов типа 313 на 51%.

Удельная масса насосных агрегатов, созданных на базе насосов типа 313, выше удельной массы однопоточных насосов типа 313 на 68% (удельная масса приводов насосов 0,25). Насосные агрегаты создавались в качестве альтернативы многопоточных насосов 223.20, 223.25, 321.224А.

Рассмотрим связь материалоемкости насосного агрегата с рыночной стоимостью. За основу примем уровень цен насосных агрегатов, предлагаемых дилерской сетью производителей гидравлической аппаратуры России [7]. Оценим стоимость насосного агрегата – удельной стоимостью:

$$c_{y0} = \frac{C_n}{q_n}, \quad c_{y0cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_{y0i},$$

где c_{y0} – удельная стоимость насоса (насосного агрегата), RUR/м³; C_n – стоимость насоса (насосного агрегата) без рабочей жидкости, RUR.

Анализ результатов расчета (см. таблица 2) показывает, что усложнение конструктивной схемы приводит к увеличению удельной стоимости. Удельная стоимость аксиально-поршневого насоса нерегулируемого типа 210, 310 выше удельной стоимости насоса типа НШ на 466%. Удельная стоимость аксиально-поршневого насоса регулируемого типа 313 различна для насосов разного объема и превышает удельную стоимость насоса нерегулируемого типа 310 на 80,9% (удельная стоимость системы управления и автоматики насоса составляет $333,6 \cdot 10^{-6}$ RUR/м³). Удельная стоимость двухпоточных насосов 223.25, 321.224А превышает удельную стоимость насосов однопоточных типа 313 данного объема на 40,8%, и удельную стоимость двухпоточных насосных агрегатов УНА-1, УНА-5 на 1,8%. Удельная стоимость двухпоточных насосных агрегатов УНА-1, УНА-5 превышает удельную стоимость насосов однопоточных типа 313 данного объема на 38,1% (удельная стоимость системы приводов насосов составляет $241,8 \cdot 10^{-6}$ RUR/м³). Удельная стоимость трехпоточных насосных агрегатов 333.3.55.100.220, УНА-4, 333.4.107.100.880 превышает удельную стоимость насосов однопоточных типа 313 данного объема на 88,0% (удельная стоимость системы приводов насосов составляет $317,1 \cdot 10^{-6}$ RUR/м³), а также удельную стоимость двухпоточных насосных агрегатов УНА-1, УНА-5 на 36%.

Одним из возможных направлений снижения материалоемкости гидравлических систем приводов ходового и технологического оборудования машин может быть создание и использование двухпоточного насосного агрегата, состоящего из однопоточного аксиально-поршневого насоса, например, типа 313, и делителя потока малой материалоемкости [8], интегрированного в конструкцию насоса.

Таблица 2 – Стоимость насосных агрегатов

Параметр	Насос нерегулируемый типа НШ					
	10У-3	16Г-3	32УК-3	50А-3	100А-3	250-4
цена с НДС, RUR	860	1388	1428	3243	5001	26124
$C_{уд} \cdot 10^{-6}$ RUR/м ³	86,0	86,8	44,6	64,9	50,0	104,5
$C_{уд.ср} \cdot 10^{-6}$ RUR/м ³	86,4		53,2			104,5
$C_{уд.ср} \cdot 10^{-6}$ RUR/м ³	72,8					
Параметр	Насос аксиально-поршневой нерегулируемый типа 310					
	28	56	80	112	160	250
цена с НДС, RUR	18585	17200	24520	26670	59991	82600
$C_{уд} \cdot 10^{-6}$ RUR/м ³	663,8	362,4	361,7	281,0	374,9	330,4
$C_{уд.ср} \cdot 10^{-6}$ RUR/м ³	663,8	342,1				
$C_{уд.ср} \cdot 10^{-6}$ RUR/м ³	412,4					
Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый типа 313					
	55	56	107	112	160	250
цена с НДС, RUR	53808	53808	73455	73455	100064	142308
$C_{уд} \cdot 10^{-6}$ RUR/м ³	978,2	960,9	686,5	655,8	625,4	569,2
$C_{уд.ср} \cdot 10^{-6}$ RUR/м ³	970,0		634,2			
$C_{уд.ср} \cdot 10^{-6}$ RUR/м ³	746,0					
Параметр	Насос аксиально-поршневой регулируемый двухпоточный					
	223.25			321.224А		
цена с НДС, RUR	195450			195450		
$C_{уд} \cdot 10^{-6}$ RUR/м ³	913,1			872,5		
$C_{уд.ср} \cdot 10^{-6}$ RUR/м ³	892,8					
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: 323.3.112. 020.77	
цена с НДС, RUR	159807	142225	253110	191962	200470	
$C_{уд} \cdot 10^{-6}$ RUR/м ³	1309,9	1147,0	1120,0	857,0	895,0	
$C_{уд.ср} \cdot 10^{-6}$ RUR/м ³	1192,3			876,0		
$C_{уд.ср} \cdot 10^{-6}$ RUR/м ³	1065,8					

Так, может быть рекомендован двухпоточный насосный моноагрегат в составе насоса 313...250 массой 85 кг и делителя потока, разработанной конструктивной схемы [8]. Экспертная оценка конструктивной схемы делителя потока показывает, что при его создании может быть использован технологический уровень производства шестеренных насосов. При этом, материалоемкость делителя потока данного объема прогнозируется ниже материалоемкости шестеренного насоса. Масса насоса НШ-250-4 составляет 43,6 кг, его стоимость с

НДС – 26124 RUR. Масса делителя потока может прогнозироваться на уровне 35 кг, а его стоимость 18200 RUR. Суммарная масса двухпоточного насосного моноагрегата в составе одного насоса серии 313...250 и ДГ составит 120 кг, а его стоимость – 160500 RUR. Такой насосный агрегат может заменить аксиально-поршневые насосы регулируемые двухпоточные 223.25, 321.224А, насосные агрегаты УНА-1, УНА-5 при производстве ряда строительных и дорожных машин, например, полноповоротных экскаваторов 4-й размерной группы (рисунок 1), а также лесных машин. Применение двухпоточного насосного моноагрегата в составе насоса серии 313...250 и делителя потока позволит уменьшить массу насосного моноагрегата по сравнению с применяемыми в одноковшовых экскаваторах насосными агрегатами УНА-1, УНА-5 на 15%, и стоимость – на (19,6–24,9)%, что при цене УНА-1, УНА-5 – 191962, 200470 RUR обеспечит экономический эффект за счет уменьшения материалоемкости и совершенствования гидравлических агрегатов систем приводов ходового и рабочего оборудования – 31462–39970 RUR.

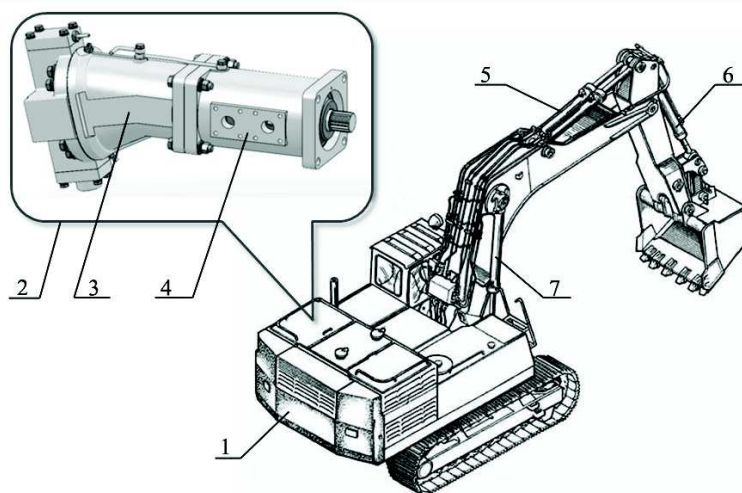


Рисунок 1 – Гидравлический экскаватор с гидравлической системой в составе насоса серии 313...250 и делителем потока:

1 – силовая установка; *2* – насосный агрегат; *3* – насос; *4* – делитель потока;
5, 6, 7 – гидроцилиндры рукояти, ковша, стрелы

ЛИТЕРАТУРА

1. Применяемость насосов шестеренных, гидрораспределителей. Проспект ОАО «Гидросила». – Кировоград. – 39 с.
2. Каталог гидравлики. ОАО «Пневмостроймашина». Издание №2. – Екатеринбург, 2005. – 134 с.
3. Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин. Объемные гидро- и пневмомшины и передачи: Учеб. Пособие для вузов / А.Ф. Андреев, Л.В. Барташевич, Н.В. Богдан и др.; Под ред. В.В. Гуськова. – Мн.: «Выш. шк.», 1987. – 310 с.
4. Каталог продукции ЧАО «Стройгидравлика». – Интернет ресурс «Stroygidravlika.com.ua».
5. Аврунин, Г.А. Обзор рынка гидрооборудования / Г.А. Аврунин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2005. – №3. – С. 7–14.
6. BOSCH Rexroth AG. Hydraulics. Axial Piston Variable Double Pump A8VO. Интернет ресурс «www.boschrexroth.com/axial-piston-pumps».
7. Прайс-лист ООО «Компания Драйв» Мобильная и промышленная гидравлика. – Екатеринбург. – Интернет ресурс «drive@r66.ru».
8. Вавилов, А.В. Создание приводов оборудования строительных и дорожных машин / А.В. Вавилов, А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай // – Строительные и дорожные машины. – 2014. – №9. – С. 35–41.