

УДК 621.22

*Г. А. АВРУНИН, И. И. МОРОЗ***АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ В ОБЪЕМНЫХ ГИДРОПРИВОДАХ МОБИЛЬНЫХ МАШИН**

Рассмотрены современные классификации рабочих жидкостей для объемных гидроприводов мобильных строительных, дорожных и подъемно-транспортных машин, в том числе допускаемых для эксплуатации: гидравлических, моторных, турбинных и трансмиссионных масел, и синтетических жидкостей. Приведены характеристики современных рабочих жидкостей на минеральной основе, синтетических, биоразлагающихся и негорючих на водяной основе. Рассмотрены примеры использования в качестве рабочей жидкости чистой воды для гидроаппаратов, кривошипно-шатунных насосов и высокомоментных радиальнопоршневых гидромоторов. Указаны требования, предъявляемые производителями объемных гидроприводов к рабочим жидкостям по вязкостно-температурным и трибологическим характеристикам. Показаны ограничения, накладываемые производителями аксиальнопоршневых гидромашин и высокомоментных радиальнопоршневых гидромоторов однократного и многократного действия, на выходные характеристики по частоте вращения и давлению при эксплуатации на водосодержащих рабочих жидкостях. Рассмотрена совместимость материалов прецизионных пар гидромашин и гидроаппаратов и уплотнений с применяемыми рабочими жидкостями. Приведена информация об опыте эксплуатации гидроприводов мобильных машин на различных рабочих жидкостях и рекомендации по их унификации. Статья может быть полезной для специалистов, занимающихся разработкой насосов, гидромоторов и гидроаппаратов, а также комплектных объемных гидроприводов мобильных коммунальных, строительных, дорожных машин и тракторов, а также студентов и аспирантов высших учебных заведений.

Ключевые слова: объемный гидропривод, насосы и гидромоторы аксиально и радиальнопоршневого типов, рабочая жидкость, классификация, вязкостно-температурные свойства, трибологические характеристики, опыт эксплуатации, унификация рабочих жидкостей, негорючие рабочие жидкости.

*Г. А. АВРУНИН, I. I. MOROZ***АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ РОБОЧИХ РІДИН В ОБ'ЄМНИХ ГІДРОПРИВОДАХ МОБІЛЬНИХ МАШИН**

Розглянуті сучасні класифікації робочих рідин для об'ємних гідравлічних приводів мобільних будівельних, дорожніх та підйомно-транспортних машин, у тому числі, що допускаються для експлуатації: гідравлічних, моторних, турбінних і трансмісійних олив, і синтетичних рідин. Приведені характеристики сучасних робочих рідин на мінеральній основі, синтетичних, та таких, що біорозкладаються, і негорючих на водній основі. Розглянуті приклади використання як робочої рідини чистої води для гідроапаратів, кривошипно-шатунових насосів та високомоментних радіальнопоршневих гідромоторів. Вказані вимоги, що пред'являються виробниками об'ємних гідравлічних приводів до робочих рідин за в'язкістю-температурними і трибологічними характеристиками. Показані обмеження, що накладаються виробниками аксіальнопоршневих гідравлічних машин і високомоментних гідромоторів одноциклової та багатоперіодичної дії на вихідні характеристики за частотою обертання і тиску при експлуатації на робочих рідинах, що водомістять. Розглянута сумісність матеріалів прецизійних пар гідравлічних машин і гідроапаратів і ущільнень із вживаними робочими рідинами. Приведена інформація про досвід експлуатації гідравлічних приводів мобільних машин на різних робочих рідинах, а також рекомендації з їх уніфікації. Стаття може бути корисною для фахівців, які займаються розробкою насосів, гідромоторів і гідроапаратів та комплектних об'ємних гідроприводів мобільних коммунальних, будівельних, дорожніх машин і тракторів, а також студентів та аспірантів вищих навчальних закладів.

Ключові слова: об'ємний гідропривід, насоси і гідромотори аксіального та радіальнопоршневого типів, робоча рідина, класифікація, в'язкістю-температурні властивості, трибологічні характеристики, досвід експлуатації, уніфікація робочих рідин, негорючі робочі рідини.

*G. AVRUNIN, I. MOROZ***AN ANALYSIS OF APPLICATION OF WORKING LIQUIDS IS IN BY HYDRAULIC FLUID POWER OF MOBILE MACHINES**

Classifications of modern working liquids are considered for by hydraulic fluid power of mobile building, travelling and lifting-transport machines, including assumed for exploitation of hydraulic, motor, turbine and transmission oils, and synthetic liquids. Descriptions over of modern working liquids are brought on mineral basis, synthetic, biodecomposing and noncombustible on aquatic basis. The requirements produced by the producers of by hydraulic fluid power to the working liquids on viscosity-temperature and tribology descriptions are indicated. The examples of using are considered as a working liquid of clean water for hydraulic apparatuses, crank type piston rod pumps and high torque hydraulic radial piston motors one and many stroke action. The limitations laid on by the producers of are shown, on output descriptions on frequency of rotation and pressure during exploitation on anhydrous workers liquids. Considered compatibility materials of exact pairs of pairs of hydraulic machines and hydraulic valves and compressions with the applied workers by liquids. Information over is brought about experience of exploitation of hydraulic fluid power of mobile machines on different workers liquids and recommendations on their unitization. The article can be useful to the specialists, occupying development of pumps, hydraulic motors and hydraulic valves, and also for complete by hydraulic fluid power mobile communal, building, travelling machines and tractors and also students and graduate students of higher educational establishments.

Keywords: hydraulic fluid power, hydraulic pumps and motors axial and radial piston type, working liquid, classification, viscosity-temperature properties, tribology descriptions, experience of exploitation, unitization of working liquids, noncombustible working liquids.

Введение. Рабочей жидкостью (РЖ) согласно ДСТУ 3455.1 называют жидкость, предназначенную для применения в объемных гидроприводах (ОГП). К основным свойствам РЖ относятся плотность, вязкость, сжимаемость, стабильность и др.

Классификация РЖ в систематизированном виде приведена на рис. 1.

Создание ОГП для современной мобильной техники (строительно-дорожных, сельскохозяйственных, подъемно-транспортных и специальных машин)

© Г. А. Аврунин, И. И. Мороз, 2018

сопровождается непрерывным увеличением скоростных, удельных, контактных и температурных нагрузок, в связи с чем РЖ должна обладать эксплуатационными характеристиками, удовлетворяющими ряду функциональных требований: рабочего тела; смазывания контртел высоконагруженных узлов трения качения и скольжения гидромашин и гидроаппаратов; удаления механических загрязнений из зазоров, вызванных износом контртел, путем переноса к фильтроэлементам гидросистемы и обеспечивая при этом высокий уровень фильтруемости; отвода тепла от узлов трения гидроустройств; защиты от коррозии. Поддержание оптимального теплового режима с помощью РЖ является также одной из важнейших задач, решаемых для обеспечения надежной работы ОГП и достижения максимального КПД.

Выбор РЖ проводят прежде всего исходя из удовлетворения трибологическим (смазочным) и вязкостно-температурным характеристикам гидромашин проектируемого ОГП. Обычно трудности возникают при назначении сорта РЖ при разработке конструкции гидромашин, отличающейся более высокими техническими параметрами по сравнению с аналогами по частоте вращения, давлению и экстремальным значениям температур.

Основная часть. Целью статьи является ознакомление специалистов по объемным гидроприводам с современными достижениями в области рабочих жидкостей для мобильных машин.

Ведущие мировые производители ОГП для мобильных машин рекомендуют следующие РЖ на нефтяной основе:

- 1) гидравлические классов HLP и HVLP согласно DIN 51524, части 2 и 3;
- 2) моторные по стандартам API-SF или CD, MIL-L 2104C и MIL-L 46152B;
- 3) трансмиссионные масла, включая для автоматических коробок передач класса ATF;
- 4) высококачественные турбинные масла и другие РЖ, которые, как и все сезонные моторные

масла достаточно хорошо подходят для эксплуатации в сложных температурных условиях работы мобильных гидросистем.

При выборе сорта РЖ необходимо придерживаться рекомендаций производителей гидромашин и других гидроустройств, которые часто представлены в виде ссылок на национальные или международные стандарты – классификаторы РЖ. В странах СНГ имеются два стандарта, согласно которым классифицируются РЖ для ОГП. Так ГОСТ 17479.3 устанавливает обозначения гидравлических масел, применяемых в ОГП летательных аппаратов, подвижной наземной, судовой техники и других механизмов, эксплуатируемых на открытом воздухе. Маркировка включает обозначение «МГ» (масло гидравлическое), класс вязкости и группу по эксплуатационным свойствам, например, МГ–15–В (15 – класс вязкости, В – группа масла по эксплуатационным свойствам).

Классы вязкости масел по ГОСТ 17479.3 совпадают с международным стандартом ISO (ИСО) 3448 в диапазоне от 5 до 150 класса. Стандартом предусмотрены 4 группы масел с различными эксплуатационными свойствами, которые полностью соответствуют классификации по международному стандарту ISO 6074/4-1982(E).

Классификация гидравлических масел по ГОСТ 28549.5 соответствует стандарту ISO 6743/4-82, включая минеральные масла, водосодержащие и безводные синтетические РЖ. Пример обозначения РЖ по ГОСТ 28549.5: полное ИСО-L-HV 32; сокращенное *L-HV 32* (*L* – класс РЖ, *H* – гидравлические системы, причем буквы *L* и *H* всегда присутствуют в обозначении, *V* – категория РЖ в зависимости от свойств и области применения, 32 – класс вязкости по ГОСТ 17479.3/ИСО 3448). В табл. 2 приведены классы вязкости РЖ по международному стандарту ISO 3448 и ГОСТ 17479.3. При применении в ОГП моторных масел следует учитывать соответствие их классов по вязкости (SAE) гидравлическим (Табл. 1).



Рис. 1. Классификация РЖ для ОГП

Таблица 1 – Физические свойства масел

ISO VG:	22(HLP)	32(HLP)	46(HVLP)	68(HVLP/HLP)	100 (HLP)
SAE:	5 W	10 W	10 W 30	10 W 30/20; W 20	W 30

При оптимальном значении кинематической вязкости РЖ достигается максимальный КПД ОГП, при экстремальных значениях вязкости, как правило, вводятся ограничения по продолжительности работы и максимальным значениям частоты вращения и давления гидромашин во избежание возникновения режимов смешанного трения и повреждения поверхностей контртел (поршневых групп, распределительного узла, подшипников качения и скольжения).

Подготовка ОГП к эксплуатации при низких температурах окружающего воздуха связана с таким важным фактором, как поддержание минимального перепада температур между гидроустройствами и РЖ во избежание заклинивания прецизионных пар скольжения (поршневых и золотниковых) и подшипников качения. Обычно этот перепад температур не должен превышать 20...35 °С.

Вязкостно-температурные свойства РЖ характеризуются индексом вязкости (ИВ), расчет которого регламентирован ГОСТ 25371. Чем больше значение ИВ, тем более пологой является вязкостно-температурная характеристика РЖ.

Значения индекса вязкости для применяемых в ОГП РЖ:

- ИВ = 90...100 – стационарных машин, работающих в помещении;
- ИВ = 120...200 – работающих на открытом воздухе, в том числе мобильных машин;
- ИВ = 200...360 – эксплуатирующихся в условиях предельных низких температур окружающего воздуха.

Таблица 2 – Классы вязкости РЖ по ISO 3448 и ГОСТ 17479.3 (*)

Класс вязкост и по ISO VG	Коэффициент кинемат. вязкости при 40 °С, мм ² /с	Класс вязкост и по ISO VG	Коэффициент кинемат. вязкости при 40 °С, мм ² /с
2	1,98 – 2,42	68*	61,2 – 74,8
3	2,88 – 3,52	100*	90 – 110
5*	4,14 – 5,06	150*	135 – 165
7*	6,12 – 7,48	220	198 – 242
10*	9,00 – 11,00	320	288 – 352
15*	13,50 – 16,50	460	414 – 506
22*	19,80 – 24,20	680	612 – 748
32*	28,80 – 35,20	1000	900 – 1100
46*	41,40 – 50,60	1500	1350 – 1650

В целом для ОГП минимальное значение вязкости составляет 5...15 сСт, оптимальное 12...60 сСт и максимальное не более 1600...2000 сСт. Следует подчеркнуть, что, хотя в последние годы на западноевропейском рынке появились гидромашин и

гидрооборудование, адаптированные к работе на повышенных температурах РЖ до 100...135 °С, эти достижения являются уникальными и получены в результате большого объема исследований в области новых конструкторских решений и материалов, и не снижают важности проблем, связанных с износом, снижением КПД и долговечностью ОГП и РЖ.

За рубежом для оценки трибологических характеристик трансмиссионных и гидравлических масел широко применяются стенды, имитирующие работу зубчатых зацеплений в объеме теста FZG A/8.3/90 по стандарту DIN 51 534, часть 2. В состав стенда входят испытательные зубчатые колеса, составляющие звено замкнутой силовой цепи, и нагружаемые в результате упругого деформирования от закручивания одного из ее элементов. Испытания проводят при ступенчатом повышении нагрузки (регламентируется 12 ступеней нагружения), начальной температуре РЖ 90 °С и скорости вращения в 8,3 м/с. После окончания работы на каждой ступени нагружения осматривают рабочие поверхности зубьев, отмечают изменение вида рабочих поверхностей колес и производят их взвешивание. Критерием оценки свойств РЖ принято резкое уменьшение массы испытательных зубчатых колес или разрушение (задиры) более 20 % рабочей поверхности их зубьев.

Для отечественных масел (гидравлических, моторных и трансмиссионных) используется методика оценки трибологических характеристик на четырехшариковой машине трения (ЧШМ) по ГОСТ 9490 (определяются индекс задира, нагрузка сваривания и диаметр пятна износа). Трибологические характеристики, полученные по разным методикам, могут приблизительно сравниваться между собой: ступени 11 и 12 нагружения по тесту FZG эквивалентны значениям пятна износа 0,35 и 0,5 мм при нагрузке 200 и 400 Н, соответственно, 11-я ступень нагружения эквивалентна индексу задира более 336 при испытаниях на ЧШМ. При работе на высоких давлениях пары трения гидромашин работают с большими контактными нагрузками и для снижения износа в гидравлические масла вводят антифрикционные и антизадиры присадки. Поэтому при подборе РЖ для ОГП рекомендуется оценка их трибологических характеристик по тесту FZG на соответствие рабочим давлениям при эксплуатации (Табл. 3)

В настоящее время рынок РЖ в Украине представлен ведущими мировыми фирмами «British Petroleum», «Mobil», «Shell», «Petrofer», «Castrol», «Aral», «Optimol», «Tribol», «Molub-Alloy» и отечественными ОАО «Азмол» (г. Бердянск) и «Кременчугский НПЗ».

Таблица 3 – Требования фирмы «PARKER» к противоизносным свойствам РЖ ОГП

Уровень давлений / сорт РЖ по DIN 51524	Давление, МПа	Число ступеней нагружения (тест FZG)
0	8...12,5	≥ 5
1 – HL	12,5...20	5...6
2 – HL	20...25	7...9
3 – HLP	25...32	≥ 10
-	Более 32	≥ 12

Повышенный интерес с точки зрения использования в гидромеханических трансмиссиях и двухпоточных коробках перемены передач (сочетающих ОГП и планетарную коробку передач) представляют РЖ серии ATF для автоматических коробок передач. Эти РЖ имеют длительный срок службы и практически без замены могут эксплуатироваться в автоматической трансмиссии транспортного средства. Исторически сложилось так, что требования к маслам ATF устанавливаются ведущими автомобилестроительными фирмами «General Motors» и «Ford». В СНГ выпускаются два сорта РЖ для автоматических коробок передач типа «А» и «МГТ», соответствующие требованиям фирмы «General Motors». Например, ОАО «Гидросила» рекомендует масло «А» для применения в ОГП типа ГСТ с ограничением по температуре окружающего воздуха «минус» 12 °С. Для РЖ класса ATF производители не приводят трибологических характеристик, что затрудняет их сравнение с другими сортами, рекомендуемыми для ОГП. Исключением являются характеристики синтетической РЖ «AMSOIL ATF», имеющей ИВ = 182 (значения вязкости при 40 и 100 °С составляют 36 и 7 сСт, соответственно, свойства текучести сохраняются до «минус» 56 °С) и значение пятна износа на 4-х шариковой машине трения равно 0,4 мм при нагрузке 400 Н, частоте вращения 1200 мин⁻¹ и продолжительности в 1 час согласно стандарту, ASTM D 41728В.

В ОГП мобильных машин накоплен опыт использования следующих РЖ [1...3]:

1) масло гидравлическое ВМГЗ для эксплуатации при температуре от «минус» 40 до 60 °С;

2) масло гидравлическое МГЕ-46В для эксплуатации при температуре от «минус» 5 до 70 °С или масло индустриальное И-30А в качестве заменителя МГЕ-46В;

3) масло трансмиссионное ТАД-17и на минеральной основе, содержащее серо-фосфоросодержащую противоизносную присадку, относится к группе ТМ-5 по ГОСТ 1479.2 (GL-5 по стандарту API) и допускает работу механизмов с ударными нагрузками и при высоких контактных напряжениях [1];

4) масла «Mobil» DTE 19M (гидравлическое) и серии ATF 200 (суффикс «А» [173], Ив = 149) использовались для аксиальнопоршневых гидромашин фирм «REXROTH BOSCH GROUP» и

«SAUER-SUNDST-RAND». Сорт РЖ подбирался для эксплуатации ОГП [4]: DTE 19M при температуре 80...115 °С; ATF 200 – при 60...80 °С;

5) синтетическое масло ГП №1 разработки ОАО «АЗМОЛ», исследованное на стенде с объемными гидромашинами [2];

6) гидравлическое масло МГЕ-10А испытано в ОГП специальных инженерных машин.

Современной тенденцией является унификации РЖ для трансмиссий, двигателей и ОГП тракторов. Так концерн ADDINOL LUBE OIL GmbH производит трансмиссионно-гидравлические минеральные масла серии UTTO для тракторов (Universal Tractor Transmission Oil), являясь одновременно продуктом серии TOU (Tractor Oil Universal). Масла UTTO соответствуют по классификации моторным SAE 10W30, 10W40, 15W40 и 20W40 (UTTO Extra 20W-40 с температурой застывания «минус» 39 °С), трансмиссионным GL-4 (API) и гидравлическим HLP-D и HVLP (DIN 51524 2/3). Например, масло UTTO 10W30 соответствует гидравлическому классу HVLP 46 (H – масло гидравлическое, V – с улучшенными вязкостно-температурными свойствами, L – с антиокислительной присадкой, P – с противоизносной присадкой, 46 – коэффициент кинематической вязкости 41,4...50,6 сСт при температуре 40 °С). Применение универсальных всесезонных масел позволяет упростить проблемы их утилизации и исключить возможные ошибки персонала, связанные с использованием масла не по назначению, что может привести к снижению ресурса и надежности агрегатов (например, при заправке двигателя трансмиссионным маслом).

Одним из современных направлений в части обеспечения экологической безопасности ОГП является применение биологически разлагающихся РЖ (БИО-РЖ), которые существенно ближе по своим характеристикам к минеральному маслу, однако практически не загрязняют окружающую среду. Биологический распад по нормам СЕС-L-33-T82 (21 день) для растительных масел составляет 70–98 %, для полиалкиленгликолей 35–95 %, для синтетических эфиров 5–95 %, а для минеральных масел не более 15–30 %. Поскольку гликоли являются водорастворимыми веществами, то они могут загрязнять грунтовые воды и, поэтому малопригодны. Таким образом, оптимальным является использование растительных масел (например, рапсового) и хорошо разлагающихся синтетических эфиров, причем присадки также должны обладать свойствами

Таблица 4 – Сравнение характеристик минерального масла, синтетических и растительных эфиров (по данным [5])

Наименование показателя	Сорт рабочей жидкости		
	масло HLP, %	синтетический эфир, %	растительный эфир (с присадками), %
Индекс вязкости, ИВ	100	193	200
Смазывающие свойства	100	130	30
Коррозионная стойкость	100	100	100
Работоспособность при низких температурах	100	100	70
Термостабильность	100	110	70
Окисляемость	100	100	35
Водостойкость	100	22	8

биологического разложения. Биологически разлагающиеся РЖ на основе органических эфиров относят к классу HEES. В табл. 4 приведены сравнительные характеристики различных РЖ. Существенные преимущества эфиров проявляются по трибологическим и вязкостно-температурным характеристикам. В то же время низкая водостойкость эфиров является негативным для ОГП свойством, так как при попадании воды эфиры распадаются на спирты и органические кислоты, являющиеся агрессивными к материалам гидрооборудования. Интенсивные исследования по совершенствованию синтетических эфиров и растительных масел дают основание полагать о перспективности данного направления.

Сроки замены РЖ не регламентированы едиными нормативными документами и обычно указаны в качестве рекомендуемых в эксплуатационной документации изготовителя ОГП. Для тяжелых условий эксплуатации и при низком качестве РЖ срок ее эксплуатации до полной замены находится в пределах 500...2000 ч, а при идеальных условиях эксплуатации может достигать 20 тыс. ч.

Создание ОГП, удовлетворяющих требованиям по пожаробезопасности при эксплуатации технологического оборудования и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, решается путем его перевода на негорючие РЖ и применение искрозащищенных гидроустройств. При этом следует отметить, что достаточно широко используемые в горном оборудовании и горячих цехах РЖ на водной основе имеют недостаточные смазочные свойства, низкую вязкость, коррозионную активность, склонность к кавитации и существенную зависимость вязкости от давления.

Огнестойкие РЖ классифицируются по ГОСТ 28549.5-90/ИСО 6743/4-82:

- HF AE – эмульсия масел в воде (обычно более 80 % воды);
- HF AS – водные растворы химических соединений (обычно более 80 % воды);
- HF B – эмульсии воды в масле;
- HF C – водные растворы полимеров (обычно менее 80% воды);
- HF DR – безводные синтетические жидкости на основе сложных эфиров фосфорной кислоты;

• HF DS – безводные синтетические жидкости на основе галогеносодержащих углеводородов;

• HF DT – безводные синтетические жидкости, представляющие собой смесь жидкостей HF DR и HF DS;

• HF DU – безводные синтетические жидкости на основе других соединений.

Жидкости типа HF DS и HF DT следует выбирать осторожно, учитывая возможную опасность для окружающей среды и здоровья человека.

Работа ОГП на негорючих РЖ, содержащих воду (типа HF A, HF B и HF C) требует существенного снижения технических параметров гидромашин. Применение безводных синтетических РЖ типа HF D не оказывает столь существенного влияния на выходные параметры гидромашин как для водосодержащих.

В табл. 5 и 6 приведены рекомендации зарубежных фирм, касающиеся назначения режимов работы гидромашин по давлению, частоте вращения и температуре РЖ, кроме того, фирма «RIVA CALZONI» (Италия) вводит также ограничения по выходной мощности гидромоторов в 25; 60 и 30 % при использовании жидкостей HF A, HF B и HF C, соответственно.

В табл. 7 приведены сравнительные характеристики минерального масла и негорючих РЖ по данным фирмы «Mobil Oil» [6]. Следует отметить, что качественные показатели конкретных РЖ могут существенно различаться у разных изготовителей. Для РЖ типа HF D должна быть исключена возможность загрязнения другими жидкостями. При использовании РЖ типа HF C следует применять бумажные фильтроэлементы с защитной пропиткой бакелитовым лаком [7]. В связи с повышенной плотностью РЖ необходимо улучшить условия всасывания насосов во избежание кавитации. В табл. 8 приведены сведения о совместимости негорючих РЖ с различными материалами [6].

Для использования в ОГП в качестве огнестойких РЖ фирма «Mobil Oil» рекомендует:

- HF C – Hydrofluid HF C 46 и Hydrofluid LT;
- HF D – Hydrofluid HF DU 68 и Mobil Pyrotec HF D 46;

• HFA – Solvak 1535 – эмульсия на основе воды с содержанием минерального масла в объеме до 5 %. Эта эмульсия молочного цвета обладает высокой кинематической вязкостью (31 мм²/с при 4 °С) по сравнению с обычными водомасляными эмульсиями, вязкость которых не превышает 3 мм²/с.

Фирма «Shell» рекомендует для ОГП огнестойкие РЖ:

• Shell «Dromus B» типа ISO HFAB – 5 % водная эмульсия с кинематической вязкостью 90 мм²/с при 20 оС;

• ISO HFB – эмульсии типа «вода в масле» с содержанием около 42 % воды Shell Irus Fluid BLT 66 и Shell Irus Fluid BLT 100;

• ISO HFC – водногликолевая РЖ (40 % воды) Shell Irus Fluid C;

• ISO L-HFDU – безводные синтетические РЖ на основе сложных эфиров Shell Irus Fluid C, Shell Irus Fluid DU 46 и Shell Irus Fluid DU 68.

Таблица 5 – Относительные значения давления и частоты вращения гидромашин при работе на негорючих РЖ

Серия гидромашин, рабочий объем, фирма	Характеристики гидромашин по отношению к минеральному маслу, %:							
	HFA		HFB		HFC		HFD, HFE	
	<i>p</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>n</i>
АПМ, серия 51 (60...250 см ³) «SAUER-DANFOSS»	40	65	65	70	60	65	85...100	85...100
АПМ, А2FM (10...1000 см ³) «M. REXROTH»	40	74	46	80	57	80	91	100
АПН, А4VSO (40...500 см ³) «M. REXROTH»	40	75	46	80	70	80	91	80
АПН, А4VG (28...250 см ³) «M. REXROTH»	35	63	40	67	50	67	80	83
РПГОД, серия Staffa HMB (188...11600 см ³) «Kawasaki»	40	40	40	100	67	50	100	100
РПГОД, серия SMA (2200...10500 см ³) «ROTARY POWER»	66	50	75	60	50	50	100	100
РПГОД, серии MR/E/D/DE (32...23000 см ³) «RIVA CALZONI»	50	50	80	80	60	50	100	100
РПМОД, серия GM (40...3000 см ³) «SAI»	40	50	40	50	40	50	100	100

Примечания: 1. *p* – номинальное давление, *n* – максимальная частота вращения; 2. АПМ и АПН – аксиальнопоршневые гидромоторы и насосы, соответственно, РПГОД – радиальнопоршневой гидромотор однократного действия (эксцентриковый); 3. Для гидромашин фирмы «M. REXROTH» характеристики соответствуют рабочему объему 250 см³; 4. А4VSO и А4VG – регулируемые насосы с наклонным диском для гидросистем с незамкнутой и замкнутой цепью циркуляции РЖ, соответственно, А2FM – гидромотор с наклонным блоком цилиндров и постоянным рабочим объемом; гидромоторы серии 51 – с наклонным блоком и регулируемым рабочим объемом; 5. HFE – Synthetic ester (синтетический эфир).

Таблица 6 – Температурные ограничения при работе ОГП на огнестойких РЖ

Тип гидромашин	Температура РЖ, °С:				
	масло минер.	HFA	HFB	HFC	HFD
АПМ и АПН, «SAUER-DANFOSS»	-40...+115	50	60	60	82
АПМ и АПН, M.REXROTH»	-40...+115	5...50	5...50	-10...+50	0...90
РПГОД, Staffa HMB «Kawasaki»	-20...+80	10...54	10...54	10...54	–
РПГОД, «SAI»	-20...+80	10...54	10...54	10...54	-20...+80
РПГОД, «RIVA CALZONI»	-30...+80	50	60	60	80

Таблица 7 – Сравнительные характеристики минерального масла и огнестойких РЖ по данным фирмы «Mobil Oil» [6]

Параметр, размерность	Сорт РЖ:				
	масло минер.	HFC	HFD	HFA	HFB
1. Сопротивление огню	-	+++	++	+++	+++
2. Вязкость кинематическая	++	+++	+	++	++
3. Совместим. с уплотнениями	++	+++	+	++	++
4. Смазывающие свойства	+++	++	+++	+++	+++
5. Температурный диапазон, °С	65	50	65	50	50
6. Теплопроводность относительно минерального масла	1	2,5	0,9	4	5
7. Уд. теплосмк, ккал/кг.град	0,44	0,79	0,3	1	0,8
8. Относительная стоимость	1	3	6	0,5	0,5

Примечание: (–) плохая характеристика; (+) достаточная; (++) хорошая; (+++) отличная.

Таблица 8 – Совместимость негорючих РЖ с различными материалами (по данным фирмы «Mobil Oil» [6])

Материалы	Сорт РЖ:		
	HFC	HFD	HFB
1. Уплотнительные материалы:			
1.1. Тефлон; Витон; силиконовая резина	+	+	+
1.2. Неопрен; Буна N	+	-	+
1.3. Бутиловая и этилен-пропиленовая резина	+	+	-
2. Металлы:			
2.1. Черные; латунь; медь	+	+	+
2.2. Цинк; алюминий неанодированный	-	+	+
2.3. Алюминий анодированный	+	+	+
3. Покрытия:			
3.1. Кадмий	-	+	+
3.2. Хром; медь; никель	+	+	+
3.3. Цинк	-	+	+
4. Краски:			
4.1. Общего назначения			
4.2. Эпокси- и фенольные	+	+	+

Три типа огнестойких РЖ рекомендует фирма «PETROFER» (ФРГ) [8]:

- HFD (фосфатный эфир с присадками) – Ultra-Safe 1120;
- HFC (раствор полигликоль-вода) – Ultra-Safe 620;
- HFDU (биоразлагаемая РЖ) – Envulubric HE 46.

Следует отметить, что РЖ Envulubric HE 46 обладает высокими противоизносными характеристиками на уровне минеральных масел, полученными при трех видах лабораторных испытаний:

- VKA-Test 1 ч/400 Н (определение износа диаметра полусферы) – 0,36 мм;
- тест Vickers 140/250 (определение износа пластин и статора пластинчатого насоса – 7 мг;
- редукторный метод FZG A/8.3/90, определяющий степень износа зубьев – > 12 ступеней нагружения.

Представляет интерес информация о накопленном опыте использования негорючих РЖ в народном хозяйстве [6;7]:

- Hydrofluid LT на ОАО «Днепроспецсталь» (г. Запорожье) и др. металлургических предприятиях СНГ;
- Hydrofluid HFC 46 и Hydrofluid HFDU 68 – на ОАО «Донецкий металлургический завод»;
- «Промгидрол HFC» в ОГП машин для литья под давлением мод. 711A07(08) и др. на предприятиях СНГ.
- «Промгидрол HFC» в ОГП машин для литья под давлением мод. 711A07(08) и др. на предприятиях СНГ.

Безусловный интерес вызывают достижения фирмы «Nauhinko» (ФРГ), производящей полный ассортимент гидрооборудования, необходимого для комплектации ОГП и использующего в качестве РЖ

чистую воду, в основе которых лежат исключительные технологические возможности, обеспечившие изготовление прецизионных пар из керамики. В составе нагнетательного оборудования фирмы имеются насосы со следующими характеристиками: кривошипно-шатунные 3-х поршневые серии ЕНР-3К на давление до 80 МПа, подачей до 700 л/мин и мощностью до 200 кВт; радиальнопоршневые эксцентриковые серии РКР с неподвижным блоком цилиндров и кривошипно-шатунной кинематической схемой, аналогичной высокомоментным радиальнопоршневым гидромоторам однократного действия. Насосы предназначены для работы при давлении до 32 МПа и подаче до 240 л/мин. Фирма «Nauhinko» выпускает также гидрораспределители, в том числе с пропорциональным электрическим управлением, и предохранительные клапаны на давление до 70 МПа и расход до 30000 л/мин. В 1989 г. фирмами «Dusterloh» и «Nauhinko» проведена совместная разработка радиальнопоршневого гидромотора однократного действия типа WR125Z с использованием в качестве РЖ чистой воды. Гидромотор с рабочим объемом 125 см³ работает при частоте вращения до 500 мин⁻¹ и максимальном давлении 21 МПа. Создание гидромоторов для работы на чистой воде может быть отнесено к одному из самых перспективных и в то же время наиболее сложных направлений совершенствования ОГП из-за необходимости решения комплекса проблем, связанных с подбором новых материалов и покрытий, разработкой методов расчета узлов трения и обеспечением коррозионной защиты.

Выводы. Рассмотренный широкий ассортимент рабочих жидкостей позволяет разработчику гидропривода принять оптимально-

стоимостное решение при ее выборе с учетом требований по вязкостно-температурным и трибологическим характеристикам, и решить задачи, связанные с безопасностью эксплуатации мобильных машин в условиях пожаро- и взрывоопасных производств и при чрезвычайных ситуациях.

Список литературы

1. Аврунин Г. А., Истратов А. В., Мартынов Ю. Ф. [и др.] Исследование характеристик масла ТАД-17и при испытаниях в объемном гидроприводе. *Промислова гідраліка і пневматика*. 2005. № 2(8). С. 20–24.
2. Аврунин Г. А., Вакуленко В. В., Волченко Ю. И., Квитка В. Б. О выборе рабочей жидкости для объемных гидроприводов мобильных машин. *Інтегровані технології та енергозбереження. Щокв. науково-практ. журнал*. Харків: НТУ «ХПІ». 2006. № 2. С. 94–101.
3. MOBIL. Каталог автомобильных и промышленных масел. MOBIL. 2003. 21 с.
4. Аврунин Г. А., Кириченко И. Г., Самородов В. Б. *Гидравлическое оборудование строительных и дорожных машин* / ред. Аврунин Г. А. Харьков: ХНАДУ, 2012. 467 с.
5. Свешников В. К., Потапов В. А. Состояние и тенденции развития гидрооборудования. *Приводная техника*. 1997. № 4. С. 3–8.
6. Бодня А. И. Негорючие (трудновоспламеняемые) жидкости для промышленных гидравлических систем. Представительство фирмы Mobil Oil в Украине. Презентация в ЗАО «НИИГидропривод». Харьков, 1998. 9 с.
7. Рябошапка В. М., Зарецкая Л. В., Ливада Г. Ф. [и др.] *Проектирование и эксплуатация гидроприводов литейных машин, работающих на трудновоспламеняемой рабочей жидкости «Промгидрол»*. Методические рекомендации. Москва: ВНИИТЭМП-ВНИИГидропривод. 86 с.
8. ULTRA-SAFE. Пожаробезопасные гидравлические жидкости. PETROFER INDUSTRIAL OILS AND CHEMICALS. 1999. 32 с.

References (transliterated)

1. Avrunin G. A., Istratov A. V., Martynov Y. F., [et al.]. Issledovanie kharakteristik masla TAD-17i pri ispytaniyakh v obemnom gidroprivode [The research of TAD-17i oil characteristics while its testing in a volumetric hydraulic drive]. *Promyslova gidravlika i pnevmatika*. 2005. No 2 (8). pp. 20–24.
2. Avrunin G. A., Vakulenko V. V., Volchenko U. I., Kvitka V. B. O vybere rabochei zhidkosti dlya obemnykh gidroprivodov mobilnykh mashin [About choosing of working fluid for volume hydraulic drives of mobile machines]. *Integrovani tehnologii ta energoberezhennya Cshokv. nauko-prakt. Zhurnal*. Kharkiv: NTU «KhPI» Publ., 2006. No 2. pp. 94–101.
3. MOBIL. Katalog avtomobilnykh i industrialnykh masel [The catalogue of automobile and industrial oils]. MOBIL Publ., 2003. p. 21.
4. Avrunin G. A., Kirichenko I. G., Samorodov V. B. *Gidravlicheskie oborudovaniya stroitelnykh i dorozhnykh mashin* [Hydraulic equipment of building and road machines]. Kharkov. KHNADU Publ., 2012. p. 467
5. Sveshnikov V. K., Potapov V. A. Sostoyanie i tendentsii razvitiya gidrooborudovaniya [The state and trends of hydraulic equipment development]. *Privodnaya tehnika*. 1997. No 4. pp. 3–8.
6. Bodnya A. I. Negoruchie (trudnovosplamnyaemye) zhidkosti dlya industrialnykh gidravlicheskiykh sistem [Non-flammable (flame-retardant) liquids for industrial hydraulic systems]. Predstavitelstvo firmy Mobil Oil v Ukraine. Prezentatsiya v ZAO NIIGidroprivod. Kharkov, 1998. p. 9.
7. Ryaboshapka V. M., Zaretskaya L. V., Livada G. F., [et al.]. *Proektirovaniye i ekspluatatsiya gidroprivodov liteinykh mashin, rabotayushchikh na trudnovosplamnyaemoy rabochei zhidkosti Promgidrol* [The design and exploitation of hydraulic drives of casting machines working on Promgidrol flame-retardant liquid]. Moscow. VNIITEMR-VNII gidroprivod Publ., p. 86.
8. ULTRA-SAFE. Pozharobezopasnye gidravlicheskie zhidkosti [Fireproof hydraulic liquids]. PETROFER INDUSTRIAL OILS AND CHEMICALS. 1999. p. 32.

Поступила / received 01.12.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Аврунін Григорій Аврамович (Avrunin Grigoriy Avramovich, Avrunin Grigory) – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет (ХНАДУ), доцент кафедри «Метрології та безпеки життєдіяльності»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0191-3149>; e-mail: griavrunin@ukr.net.

Мороз Ірина Іванівна (Moroz Irina Ivanovna, Moroz Irene) – Харківський національний автомобільно-дорожній університет (ХНАДУ), старший викладач кафедри «Вищої математики»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5950-2089>; e-mail: irinamoroz25.01@ukr.net.