



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**

Кафедра «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод»

**И. А. Веренич
Д. Л. Жилинин**

**РАБОЧИЕ ЖИДКОСТИ,
СМАЗКИ И УПЛОТНЕНИЯ
ГИДРОПНЕВМОСИСТЕМ**

Учебно-методическое пособие

**Минск
БНТУ
2017**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод»

И. А. Веренич
Д. Л. Жилинин

РАБОЧИЕ ЖИДКОСТИ, СМАЗКИ И УПЛОТНЕНИЯ
ГИДРОПНЕВМОСИСТЕМ

Учебно-методическое пособие
по лабораторным работам
для студентов специальности 1-36 01 07
«Гидропневмосистемы мобильных
и технологических машин»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию
в области транспорта и транспортной деятельности*

Минск
БНТУ
2017

УДК 62-82+62-85 (075.8)

ББК 34.447я7

В31

Рецензенты:

Е. М. Заболоцкий, Г. П. Грибко

Веренич, И. А.

В31 Рабочие жидкости, смазки и уплотнения гидропневмосистем : учебно-методическое пособие по лабораторным работам для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» / И. А. Веренич, Д. Л. Жилиянин. – Минск : БНТУ, 2017. – 68 с.

ISBN 978-985-550-543-4.

Рассмотрены отечественные и международные классификации рабочих жидкостей и смазок, методы испытаний и критерии оценки качества жидкостей и смазок. Содержатся лабораторные работы по определению индекса вязкости моторных масел; температуры вспышки индустриальных масел; трибологических характеристик трансмиссионных масел; пенетрации пластичных смазок; класса чистоты рабочих жидкостей гидроприводов; классификационной оценки противозносных свойств рабочих жидкостей, лабораторная работа по конструкциям уплотнений и уплотнительных элементов гидропневмосистем.

УДК 62-82+62-85 (075.8)

ББК 34.447я7

ISBN 978-985-550-543-4

© Веренич И. А., Жилиянин Д. Л., 2017

© Белорусский национальный
технический университет, 2017

Введение

Рабочие жидкости и уплотнения – универсальные элементы, непременно присутствующие в любых гидравлических системах.

Инженеры всех отраслей техники сталкиваются с проблемами технических жидкостей и уплотнений, которые часто определяют возможные рабочие параметры, ресурс и надежность конструкций, энергоемкость, токсичность и экологичность машин. Круг вопросов, связанных с рациональным выбором рабочих жидкостей и уплотнений, их эксплуатацией и утилизацией, чрезвычайно широк и требует комплексного рассмотрения задач, находящихся на стыке, с одной стороны, машиноведения, механики жидкости и газа, трибологии и герметологии, а с другой – нефтехимии, физики и химии полимеров, химмотологии и экономики.

В результате изучения дисциплины «Рабочие жидкости, смазки и уплотнения гидропневмосистем» студент должен:

1) *знать*:

- физические, эксплуатационные, трибологические и экологические свойства рабочих жидкостей и смазок;
- классификацию, область применения, требования к их качеству;
- основы производства, методы регулирования и улучшения качества введением присадок;
- действующие отечественные и международные системы оценки качества рабочих жидкостей и смазок;
- экологические проблемы рабочих жидкостей и смазок;
- виды альтернативных синтетических и растительных масел;
- режимы смазки и принципы проектирования систем смазки;
- методику теплового расчета гидропривода;
- классификацию и основы расчета и выбора уплотнений;

2) *уметь*:

- выбрать по каталогам выпускаемой продукции рабочую жидкость, смазочный материал и уплотнения для гидросистемы;
- провести тепловой расчет гидросистемы;
- рассчитать утечки жидкости через уплотнительный узел;
- пользоваться справочной и научной литературой, источниками патентной информации.

В результате выполнения лабораторных работ студент приобретает навыки экспериментального определения основных свойств жидкостей и смазок, навыки обработки результатов эксперимента.

Лабораторная работа № 1

РАСЧЕТ ИНДЕКСА ВЯЗКОСТИ

Цель работы

1. Изучить международную и отечественную классификацию масел моторных, их функции и показатели качества.
2. Научиться рассчитывать индекс вязкости смазочных масел.

Теоретические сведения

Классификация моторных масел

Согласно ГОСТ 17479.1–85 моторные масла подразделяются на классы по вязкости и группы по уровню эксплуатационных свойств. Стандартная марка включает следующие знаки: букву М (моторное), несколько цифр через дробь или без нее (указывающие класс вязкости), букву алфавита с цифрой или без (обозначающую уровень эксплуатационных свойств). Например:

М 6₃/10 В2Г1 – масло моторное всесезонное класса вязкости 6₃/10 для дизельных двигателей (2) В2 и бензиновых двигателей (1) Г1.

Международная классификация моторных масел включает в себя классификацию по вязкости, основанную на стандарте SAE J 300, и классификацию по моторным свойствам, представляющую собой группу по API или ACEA или допуск производителя. Также существуют локальные классификации, применяемые на отдельных рынках: Японии, Северной Америки.

Классы вязкости моторных масел, по ГОСТ 17479.1–85, представлены в табл. 1.1. К неофициальному, но общепринятому термину «всесезонные» относят масла, имеющие классы вязкости с дробью.

Классы вязкости моторных масел, установленные SAE J 300 (редакция – март 2000), указаны в табл. 1.2. Большинство масел, представленных на рынке, имеют двойной класс вязкости, включающий как низкотемпературные (с буквой W), так и высокотемпературные свойства.

Таблица 1.1

Классы вязкости моторных масел (ГОСТ 17479.1–85)

Класс вязкости	Кинематическая вязкость, мм ² /с, при температуре	
	–18 °С, не более	100 °С
3 ₃	1250	Более 3,8
4 ₃	2600	Более 4,1
5 ₃	6000	Более 5,6
6 ₃	10400	Более 5,6
6	–	Более 5,6 по 7,0
8	–	Более 7,0 по 9,3
10	–	Более 9,3 по 11,5
12	–	Более 11,5 по 12,5
14	–	Более 12,5 по 14,5
16	–	Более 14,5 по 16,3
20	–	Более 16,3 по 21,9
24	–	Более 21,9 по 26,1
3 ₃ /8	1250	Более 7,0 по 9,3
4 ₃ /6	2600	Более 5,6 по 7,0
4 ₃ /8	2600	Более 7,0 по 9,3
4 ₃ /10	2600	Более 9,3 по 11,5
5 ₃ /10	6000	Более 9,3 по 11,5
5 ₃ /12	6000	Более 11,5 по 12,5
5 ₃ /14	6000	Более 12,5 по 14,5
6 ₃ /10	10400	Более 9,3 по 11,5
6 ₃ /12	10400	Более 11,5 по 12,5
6 ₃ /14	10400	Более 12,5 по 14,5
6 ₃ /16	10400	Более 14,5 по 16,3

Таблица 1.2

Классы вязкости моторных масел (SAE J 300–2000)

Класс вязко- сти по SAE	Низкотемпературная вязкость		Высокотемпературная вязкость		
	Проворачивае- мость, МПа·с, при темпера- туре, °С, не более	Прокачивае- мость, МПа·с, при темпера- туре, °С	Кинематическая вязкость, мм ² /с, при 100 °С		При высокой скорости сдви- га, МПа·с, при 150 °С и 10 ⁶ с ⁻¹ , не менее
			Мини- мум	Не более	
0W	6200 при –35	60000 при –40	3,8	–	
5W	6600 при –30	60000 при –35	3,8	–	
10W	7000 при –25	60000 при –30	4,1	–	
15W	7000 при –20	60000 при –25	5,6	–	
20W	9500 при –15	60000 при –20	5,6	–	
25W	13000 при –10	60000 при –15	9,3	–	
20	–	–	5,6	9,3	2,6
30	–	–	9,3	12,5	2,9
40	–	–	12,5	16,3	2,9 (0W; 5W; 10W-40 классы)
40	–	–	12,5	16,3	3,7 (15W; 20W; 25W-40 классы)
50	–	–	16,3	21,9	3,7
60	–	–	21,9	26,1	3,7

Кинематическая вязкость для всех типов масел определяется по ГОСТ 33–2000 или аналогичному ему ASTM D 445. В Республике Беларусь действует аналогичный ASTM переводной стандарт СТБ ИСО 3104–2003 «Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости».

Определение проворачиваемости производится по ASTM D 2602 на имитаторе холодного пуска CCS (Cold cranking simulator). Более важным показателем является прокачиваемость, отражающая способность холодного масла двигаться ко входу насоса. Она определяется на ротационном вискозиметре MRV по ASTM D 4684 или ASTM D 3829. Вязкость при высокой скорости сдвига определяется на коническом имитаторе подшипника по ASTM D 4684.

Аналоги вязкостных классов моторных масел по классификациям ГОСТ и SAE приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Аналоги вязкостных классов моторных масел по классификациям ГОСТ и SAE

ГОСТ	SAE	ГОСТ	SAE	ГОСТ	SAE
3 ₃	5W	12	30	4 ₃ /10	10W-30
4 ₃	10W	14	40	5 ₃ /10	15W-30
5 ₃	15W	16	40	5 ₃ /12	15W-30
6 ₃	20W	20	50	6 ₃ /10	20W-30
6	20	3 ₃ /8	5W-20	6 ₃ /12	20W-30
8	20	4 ₃ /6	10W-20	6 ₃ /14	20W-40
10	30	4 ₃ /8	10W-20	6 ₃ /16	20W-40

Наиболее важной по применимости моторных масел является классификация по эксплуатационным свойствам. Используются классификации по ГОСТ 17479.1–85, API, ACEA, спецификации производителей автомобилей. В табл. 1.4 приведено соответствие классификаций ГОСТ и API.

Таблица 1.4

Классификации по эксплуатационным свойствам по ГОСТ и SAE

Масла для ДВС с искровым зажиганием			Масла для дизельных ДВС		
Класс SAE	Год введения	Группа по ГОСТ	Класс SAE	Год введения	Группа по ГОСТ
1	2	3	4	5	6
SN	2011		CJ-4	2006	
SM	2004		CI-4 Plus	2005	
SL	2001		CI-4	2002	
SJ	1997		CH-4	1998	
SH	1994		CG-4	1995	
SG	1989		CF-4	1990	

1	2	3	4	5	6
SF	1980		CF-2	1994	
SE	1972	Г1	CF	1994	
SD	1968	В1	CE	1985	
SC	1964	Б1	CD-II	1985	
SB		А	CD	1955	Д
SA			CC		Г2
			CB		В2
			CA		Б2

В случае применения масел для нескольких типов ДВС (так называемые универсальные масла) используется сочетание нескольких букв (В2Г1) или буква без цифры (Г) по ГОСТ, перечисление классов по SAE.

Классификация масел по эксплуатационным свойствам согласно ACEA включает в себя регулярно пересматриваемые классы для легковых и легких грузовых автомобилей (А – бензиновые, В – дизельные, С – универсальные), а также для грузовых автомобилей, автобусов и тяжелой техники (Е). Полное наименование представляет собой аббревиатуру, например ACEA A3/B4-04, включающую в себя год утверждения или пересмотра. Обычно пользуются сокращенным наименованием без указания года. В настоящий момент существуют следующие классификации: ACEA A1/B1, ACEA A3/B4, ACEA A5/B5, ACEA C1, ACEA C2, ACEA C3, ACEA C4, ACEA E2, ACEA E3, ACEA E4, ACEA E5, ACEA E6, ACEA E7, ACEA E9.

Классификации изготовителей автомобилей широко используются в эксплуатационной документации. Производители моторных масел получают одобрение (допуски) изготовителей автомобилей и маркируют свою продукцию соответствующими обозначениями.

При выборе моторного масла для эксплуатации в первую очередь следует руководствоваться рекомендациями производителя техники.

Вязкость и индекс вязкости (VI)

Вязкость – параметр, определяющий смазывающие свойства, текучесть и способность смазочных масел к прокачиванию. Абсолют-

ное значение вязкости зависит от температуры, давления, скорости сдвига и определяется факторами, связанными с составом масел.

Вязкость определяется капиллярными и ротационными вискозиметрами, вискозиметрами с падающим шариком. Наиболее часто применяют капиллярные вискозиметры ВПЖ (для прозрачных масел), ВНЖ (для непрозрачных масел), вискозиметры Фогеля–Оссага (DIN 51561) и Убеллоде (ASTM B445), которые служат для измерения кинематической вязкости.

Динамическая вязкость жидкостей может быть определена в вискозиметре с падающим шариком Хоплера (DIN 53015), в ротационном вискозиметре (DIN 53018, ASTM D 2983, ГОСТ 1929).

В основе капиллярных вискозиметров лежит известная формула Пуазейля для динамической вязкости.

Вязкостно-температурная зависимость может быть определена индексом вязкости согласно ГОСТ 25371, СТБ 1797, ASTM D 341.

Индекс вязкости – сравнительная характеристика, предложенная Дином и Дэвисом, в основе которой лежит сравнение вязкостно-температурных характеристик испытуемой и эталонной жидкостей.

Условно принято, что индекс вязкости эталонного масла с пологой кривой вязкости равен 100, а индекс вязкости эталонного масла с крутой температурной кривой равен 0. Практически индекс вязкости определяют по кинематической вязкости при 40 и 100 °С.

Расчет индекса вязкости (VI)

ГОСТ 25371 или СТБ 1797 устанавливают два метода расчета индекса вязкости смазочных масел на основе их кинематической вязкости при 40 и 100 °С:

метод А – для масел с VI менее 100;

метод В – для масел с VI 100 и более.

Для расчета индекса вязкости необходимо знать кинематическую вязкость масла при 40 и 100 °С. Эти величины являются исходными данными для расчета. Вязкость определяется по ГОСТ 33 с помощью вискозиметров ВПЖ-3 или ВПЖ-4.

$$VI = (L - U) 100 / (L - H) = (L - U) 100 / D.$$

В расчете приняты следующие обозначения:

U – кинематическая вязкость при 40 °С нефтепродукта, индекс вязкости которого требуется определить, мм²/с;

Y – кинематическая вязкость при 100 °С нефтепродукта, индекс вязкости которого требуется определить, мм²/с;

L – кинематическая вязкость при 40 °С нефтепродукта с индексом вязкости 0, при 100 °С обладающего той же кинематической вязкостью, что и испытуемый нефтепродукт, мм²/с;

H – кинематическая вязкость при 40 °С нефтепродукта с индексом вязкости 100, при 100 °С обладающего той же кинематической вязкостью, что и испытуемый нефтепродукт, мм²/с;

$$D = L - H.$$

Точность расчета индекса вязкости по методу А зависит от точности двух независимых значений кинематической вязкости, по которым он рассчитывается. Результаты двух расчетов считаются действительными, если разность значений кинематической вязкости превышает допуск по сходимости и воспроизводимости в соответствии с методом ее определения.

Метод А

Если кинематическая вязкость нефтепродуктов при 100 °С ниже или равна 70 мм²/с, значения, соответствующие L и D , определяют по таблице стандарта. Если значения в таблице отсутствуют, но находятся в диапазоне таблицы, их рассчитывают методом линейной интерполяции.

Если кинематическая вязкость нефтепродукта при 100 °С выше 70 мм²/с, L и D вычисляют по формулам:

$$L = 0,8353 Y^2 + 14,67 Y - 216;$$

$$D = 0,6669 Y^2 + 2,82 Y - 119.$$

Для испытуемых продуктов, кинематическая вязкость которых при 100 °С меньше 2 мм²/с, значения L , H и D вычисляют по формулам:

$$L = Y (1,5215 + 0,7092 Y);$$

$$D = Y (0,17129 + 0,11441 Y);$$

$$H = Y (1,35017 + 0,59482 Y).$$

Индекс вязкости (VI) испытуемого масла вычисляют по формуле

$$VI = (L - U) 100 / (L - H) = (L - U) 100 / D.$$

Индекс вязкости VI записывают с точностью до целого числа. Если результат выражен целым числом с пятью десятичными, его округляют до наиболее близкого четного числа.

Точность метода А, указанная в табл. 1.5, полностью основана на точности метода по ГОСТ 33–2000. Точность может быть определена для любого показателя кинематической вязкости или индекса методом линейной интерполяции.

Таблица 1.5

Точность метода А

Кинематическая вязкость при 100 °С, мм ² /с	Точность			
	VI = 0		VI = 100	
	Сходи- мость	Воспроиз- водимость	Сходи- мость	Воспроиз- водимость
4	2,4	4,8	1,7	3,4
6	2,1	4,2	1,3	2,6
8	1,9	3,7	1,1	2,2
15	1,5	3,0	0,7	1,4
30	1,2	2,5	0,4	0,9
50	1,1	2,2	0,3	0,7

Метод В

Значение *H* определяют по табл. 1.4 ГОСТ 33–2000. Если кинематическая вязкость нефтепродукта при 100 °С более 70 мм²/с, то *H* вычисляют по формуле

$$H = 0,1684 Y^2 + 11,85 Y - 97.$$

Индекс вязкости VI вычисляют по формулам:

$$N = (\log H - \log U) / \log Y;$$

$$VI = \{[(\text{antilog } N) - 1] / 0,00715\} + 100.$$

Индекс вязкости VI записывают с точностью до целого числа. Если результат выражен целым числом с пятью десятичными, его округляют до наиболее близкого четного числа.

Точность метода В, указанная в табл. 1.6, полностью основана на точности метода по ГОСТ 33–2000. Точность может быть определена для любого показателя кинематической вязкости или индекса методом линейной интерполяции.

Таблица 1.6

Точность метода В

Кинематическая вязкость при 100 °С, мм ² /с	Точность			
	VI = 100		VI = 200	
	Сходи- мость	Воспроиз- водимость	Сходи- мость	Воспроиз- водимость
4	1,4	2,8	2,2	4,4
6	1,1	2,2	1,7	3,5
8	1,0	2,0	1,5	3,0
15	0,7	1,5	1,1	2,3
30	0,6	1,2	0,9	1,8
50	0,5	1,0	0,8	1,6

Расшифровка организаций, упомянутых в тексте:

ACEA – Association des Constructeurs Europeens d’Automobiles – www.acea.be;

API – American Petroleum Institute – www.api.org;

SAE – Society of Automotive Engineers – www.sae.com.

Содержание отчета

1. Краткие теоретические сведения.
2. Исходные данные для расчета индекса вязкости.
3. Расчетные формулы и результаты расчета.
4. Выводы.

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Цель работы

1. Изучить международную и отечественную классификацию масел индустриальных, их функции и показатели качества.
2. Изучить метод определения температуры вспышки нефтепродуктов в открытом тигле.

Теоретические сведения

Классификация индустриальных масел

По назначению индустриальные масла делят на четыре группы, по уровню эксплуатационных свойств – на пять подгрупп, а в зависимости от кинематической вязкости при 40 °С – на 18 классов. Деление масел по назначению соответствует ISO 3498 и ISO 6743, а по вязкости – ISO 3448. Соответствие обозначений индустриальных масел по ГОСТ 17479.4–87 группам по назначению классификации ISO 6743 приведено в табл. 2.1 и 2.2.

Таблица 2.1

Группы индустриальных масел по назначению

Группа	Соответствие по ISO 6743	Область применения
Л	F	Легконагруженные узлы (шпиндели, подшипники и сопряженные с ними соединения)
Г	H	Гидравлические системы
Н	G	Направляющие скольжения
Т	C	Тяжелонагруженные узлы (зубчатые передачи)

Таблица 2.2

Подгруппы промышленных масел
по эксплуатационным свойствам

1	2
А	Масла без присадок; по условиям работы оборудования особые требования к антиокислительным и антикоррозионным свойствам масел не предъявляются
В	Масла с антиокислительными и антикоррозионными присадками; по условиям работы оборудования предъявляются повышенные требования к антиокислительным и антикоррозионным свойствам масел
С	Масла типа В с противоизносными присадками; по условиям работы оборудования к антиокислительным, антикоррозионным и противоизносным свойствам масел предъявляются повышенные требования
D	Масла типа С с противозадирными присадками; по условиям работы оборудования к антиокислительным, антикоррозионным, противоизносным и противозадирным свойствам масел предъявляются повышенные требования
Е	Масла типа D с улучшающими скольжение присадками; когда по условиям работы оборудования к антиокислительным, антикоррозионным, противоизносным, противозадирным и фрикционным свойствам масел предъявляются повышенные требования

Свои функции рабочая жидкость для гидросистем может осуществлять в том случае, если она имеет свойства, соответствующие конкретным условиям эксплуатации машин. К таким свойствам относятся:

- минимальная плотность;
- незначительная сжимаемость;
- не слишком низкая вязкость (достаточная смазочная пленка);
- пологая характеристика «вязкость–температура»;
- пологая характеристика «вязкость–давление»;
- хорошая устойчивость против старения;

- слабая воспламеняемость;
- совместимость с материалами.

Кроме того, рабочие жидкости для гидросистем должны удовлетворять следующим требованиям:

- эффективному воздухоотделению;
- отсутствию пенообразования;
- морозостойкости;
- защите от износа и от коррозии;
- водоотделительной способности.

Классы вязкости масел по ISO 3448 приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Классы вязкости масел по ISO 3448

Класс вязкости	Вязкость при 40 °С	Класс вязкости	Вязкость при 40 °С
ISO VG 2	1,98–2,42	ISO VG 68	61,2–74,8
ISO VG 3	2,88–3,52	ISO VG 100	90,0–110
ISO VG 5	4,14–5,06	ISO VG 150	135–165
ISO VG 7	6,12–7,48	ISO VG 220	198–242
ISO VG 10	9,00–11,00	ISO VG 320	288–352
ISO VG 15	13,5–16,5	ISO VG 460	414–506
ISO VG 22	19,8–24,2	ISO VG 680	612–748
ISO VG 32	28,8–35,2	ISO VG 1000	900–1100
ISO VG 46	41,4–50,6	ISO VG 1500	1350–1650

Гидравлические масла являются одной из подгрупп индустриальных. В зависимости от эксплуатационных свойств и состава (наличия соответствующих функциональных присадок) гидравлические масла делят на группы А, Б и В.

Группа А (группа НН по ISO) – нефтяные масла без присадок, применяемые в малонагруженных гидросистемах с шестеренными или поршневыми насосами, работающими при давлении до 15 МПа и максимальной температурой масла в объеме до 80 °С.

Группа В (группа НЛ по ISO) – масла с антиокислительными и антикоррозионными присадками, предназначенные для средненагруженных гидросистем с различными насосами, работающими при давлении до 25 МПа и максимальной температурой масла в объеме более 80 °С.

Группа В (группа НМ по ISO) – хорошо очищенные масла с антиокислительными, антикоррозионными и противоизносными присадками. Предназначены для гидросистем, работающих при давлении свыше 25 МПа и температуре масла свыше 90 °С.

В масла всех указанных групп могут быть введены загущающие (вязкостные) и антипенные присадки. Загущенные вязкостными полимерными присадками гидравлические масла соответствуют группе HV по ISO 6743.

Некоторые давно разработанные и выпускаемые гидравлические масла по значению вязкости нестрого соответствуют классу по классификации, обозначенной ГОСТ 17479.3–85, а занимают промежуточное положение. Например, масло ГТ-50, при 40 °С имеющее вязкость 17–18 мм²/с, находится в ряду классификации между 15-м и 22-м классами вязкости.

По вязкостным свойствам гидравлические масла условно делятся на следующие группы:

- маловязкие – классы вязкости с 5-го по 15-й;
- средневязкие – классы вязкости с 22-го по 32-й;
- вязкие – классы вязкости с 46-го по 150-й.

Рабочие жидкости гидросистем выполняют следующие функции:

- передачу энергии давления;
- смазку движущихся частей механизмов;
- отвод тепла, выделяющегося в процессе передачи энергии;
- демпфирование колебаний гидравлических ударов;
- антикоррозионную защиту;
- удаление продуктов износа;
- передачу сигналов и др.

Показатели физических свойств

1. Плотность. *Абсолютной плотностью вещества* называют количество массы, содержащейся в единице объема. *Относительной плотностью вещества* называется величина, равная отношению его плотности к плотности некоторого вещества при некоторых условиях, принятых за стандартные.

Таковыми стандартными веществами являются чистая вода при температуре 3,98 °С и нормальном атмосферном давлении (101325 Па) или сухой воздух при 20 °С и нормальном атмосферном давлении.

Численные значения абсолютной и относительной плотности совпадают, но относительная плотность – величина безразмерная.

Пересчет плотности при различных температурах проводится по формуле Д. И. Менделеева.

Плотность среды является важнейшим параметром любых гидроаэродинамических процессов.

Плотность нефтепродуктов определяется по методам ГОСТ 3900, DIN 51757, ASTM D 941 с помощью различных приборов: ареометров, нефтенсиметров (с термометрами и без термометров), пикнометров, весов Мора–Вестфалья и т. д., и обычно представляется величиной, полученной при 15 °С.

2. Показатель преломления используется для быстрой идентификации продуктов.

3. Поверхностные явления. Когда масла подвергаются воздействию воды и воздуха во время хранения, они могут образовывать эмульсии и пены, нарушающие нормальное функционирование масел.

Способность масел к отделению воды моделируется накоплением воды в масле путем ее конденсации. Поведение масла при перемешивании с воздухом характеризует способность масла к деаэрации.

Поверхностное натяжение измеряется пробой на образование пузырьков с помощью сталагмометра или методом капиллярного подъема.

4. Температуры помутнения, текучести и застывания. Поведение масел в низкотемпературных условиях характеризуется температурой, при которой масло становится мутным из-за начинающегося выделения парафина (точка помутнения), или температурой, при которой масло перестает течь (температура застывания).

Температуру текучести можно оценить, если в стандартную пробирку налить испытуемый продукт и при наклоне пробирки под углом 45° уровень жидкости остается неподвижным в течение 1 мин.

Этот показатель важен при использовании рабочих жидкостей в зимних условиях.

5. Потери на испарение. Летучесть масел, т. е. их испаряемость, важна для моторных масел и пластификаторов. Поток воздуха протекает над маслом, помещенным в чашку. Чашка в течение 1 ч нагревается до 250 °С. Потери на испарение оцениваются взвешиванием.

6. Анилиновая точка. Анилиновая точка представляет собой температуру, при которой равные объемы масла и свежеперегнанного

анилина разделяются на две фазы. Чем выше температура разделения смеси, тем больше парафиновых углеводородов в масле; чем ниже эта температура, тем больше в масле ароматических углеводородов. Анилиновая точка имеет свое значение при определении зависимости вязкости от давления.

7. Кислотное/щелочное число. Кислотное число показывает, сколько миллиграммов КОН необходимо затратить для нейтрализации свободных органических кислот, содержащихся в 1 г рабочей жидкости.

Температура вспышки

Температура вспышки – это минимальная температура, при которой пары продукта, нагреваемого в условиях, установленных стандартом, образуют с окружающим воздухом смесь, вспыхивающую при поднесении к ней пламени.

По температуре вспышки жидкости классифицируют по степени их пожароопасности.

Температуру вспышки определяют в открытом или в закрытом тигле. Для масел большее распространение получило определение температуры вспышки в открытом тигле.

ГОСТ 4333–87 устанавливает два метода определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле – по методу Кливленда (метод А) и Бренкена (метод Б). Для определения температуры вспышки используются ручные или автоматические аппараты. При возникновении разногласий в оценке качества нефтепродукта определение проводят вручную.

Проведение испытания

Рассмотрим метод Кливленда, как более часто упоминаемый в документации на масла.

Аппарат устанавливают на горизонтальном столе в таком месте, где нет заметного движения воздуха и вспышка хорошо видна. Для защиты от движения воздуха аппарат с трех сторон окружают экраном или щитом.

Тигель заполняют нефтепродуктом так, чтобы верхний мениск точно совпадал с меткой. При наполнении тигля выше метки избыток нефтепродукта удаляют.

Тигель устанавливают в аппарат. В тигель помещают термометр в строго вертикальном положении так, чтобы нижний конец термометра находился на расстоянии 6 мм от дна тигля (для чего используют шаблон).

Тигель с пробой нагревают сначала со скоростью 14–17 °С/мин. Когда температура пробы будет на 56 °С ниже предполагаемой температуры вспышки, скорость подогрева регулируют так, чтобы последние 28 °С перед температурой вспышки нефтепродукт нагревался со скоростью 5–6 °С/мин.

Пламя зажигательного устройства зажигают и регулируют таким образом, чтобы размер диаметра пламени был около 4 мм. Его сравнивают с лекалом (шариком-шаблоном), смонтированным в аппарат.

Начиная от температуры не менее чем на 28 °С ниже температуры вспышки, каждый раз при повышении температуры пробы на 2 °С применяют зажигательное устройство. Пламя зажигательного устройства перемещают в горизонтальном направлении, не останавливаясь над краем тигля, и проводят им над центром тигля в одном направлении в течение 1 с. При последующем повышении температуры перемещают пламя зажигания в обратном направлении.

За температуру вспышки принимают температуру, показываемую термометром при появлении первого синего пламени над частью или над всей поверхностью испытуемого нефтепродукта. Голубой круг (ореол), который иногда образуется вокруг пламени зажигания, во внимание не принимают. В случае появления неясной вспышки она должна быть подтверждена последующей вспышкой через 2 °С.

Обработка результатов

Если барометрическое давление во время испытания ниже чем 95,3 кПа, то к полученным значениям температуры вспышки необходимо ввести поправку согласно табл. 2.4.

Таблица 2.4

Поправки на барометрическое давление

Барометрическое давление, кПа	Поправка, °С
От 95,3 до 88,7	+2
От 88,6 до 81,3	+4
От 81,2 до 73,3	+6

За результат испытания принимают среднее арифметическое значение результатов двух определений, округленное до целого числа и выраженное в градусах Цельсия.

Точность метода

Два результата испытаний, полученные одним исполнителем, признаются достоверными (с 95%-й доверительной вероятностью), если расхождение между ними не превышает 5°C – сходимость.

Два результата испытаний, полученные в двух разных лабораториях, признаются достоверными (с 95%-й доверительной вероятностью), если расхождение между ними не превышает 16°C – воспроизводимость.

Содержание отчета

1. Краткие теоретические сведения.
2. Результаты измерений и их обработка.
3. Выводы.

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСМИССИОННЫХ МАСЕЛ НА ЧЕТЫРЕХШАРИКОВОЙ МАШИНЕ ТРЕНИЯ

Цель работы

1. Изучить международную и отечественную классификацию масел трансмиссионных, их функции и показатели качества.
2. Изучить метод определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине трения.

Теоретические сведения

Классификация трансмиссионных масел

ГОСТ 17479.2–85 подразделяет трансмиссионные масла на классы по вязкости и группы по уровню эксплуатационных свойств. Стандартная марка включает следующие знаки: буквы ТМ (трансмиссионное), одну цифру (обозначающую уровень эксплуатационных свойств) и одну или несколько цифр (указывающие класс вязкости).

Международная классификация трансмиссионных масел включает в себя классификацию по вязкости, основанную на стандарте SAE J 306, и классификацию по эксплуатационным свойствам, представляющую собой группу по API или допуск производителя.

Классы вязкости трансмиссионных масел, установленные ГОСТ 17479.2–85, представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Классы вязкости трансмиссионных масел (ГОСТ 17479.2–85)

Класс вязкости	Кинематическая вязкость, мм ² /с, при температуре 100 °С	Температура, при которой динамическая вязкость не превышает 150 Па с, °С, не более
9	6,00–10,99	–35
12	11,00–13,99	–26
18	14,00–24,99	–18
34	25,00–41,00	Не нормируется

Классы вязкости трансмиссионных масел, установленные SAE J 306, представлены в табл. 3.2. Большинство масел, представленных на рынке, имеют двойной класс вязкости, включающий как низкотемпературные (с буквой W), так высокотемпературные свойства. Динамическая вязкость в 150 Па·с считается предельной, так как при ней еще обеспечивается надежная работа агрегатов трансмиссий.

Таблица 3.2

Классы вязкости трансмиссионных масел (SAE J 306)

Класс вязкости по SAE	Максимальная температура достижения динамической вязкости 150 Па·с, °С, не более	Кинематическая вязкость, мм ² /с, при 100 °С	
		Минимум	Не более
70W	-55	4,1	–
75W	-40	4,1	–
80W	-26	7,0	–
85W	-12	11,0	–
80	–	7,0	11,0
85	–	11,0	13,5
90	–	13,5	18,5
110	–	18,5	24,0
140	–	24,0	32,5
190	–	32,5	41,0
250	–	41,0	–

Аналоги вязкостных классов трансмиссионных масел по классификациям ГОСТ и SAE: 9 – 75W, 12 – 80W, 18 – 80W-90 или 85W-90, 34 – 140 или 190.

Наиболее важной по применимости трансмиссионных масел является классификация по эксплуатационным свойствам. Используются классификации по ГОСТ 17479.2–85, API, спецификации производителей автомобилей. В табл. 3.3 приведено соответствие классификаций ГОСТ и API.

Таблица 3.3
Классификации трансмиссионных масел по эксплуатационным свойствам по ГОСТ и API

ГОСТ	Состав масел	Рекомендуемая область применения	API	Состав масел	Рекомендуемая область применения
1	Без присадок	Цилиндрические, конические и червячные передачи, работающие при контактных напряжениях от 900 до 1600 МПа и температуре масла до 90 °С	GL-1	Без присадок или с антиокислительными, противозадирными и противопенными присадками без противозадирных компонентов	Цилиндрические, червячные и спирально-конические зубчатые передачи в условиях низких скоростей и нагрузок
2	С противозадирными присадками	То же при контактных напряжениях до 2100 МПа и температуре масла до 130 °С	GL-2	Могут содержать антифрикционный компонент	Червячные передачи, работающие в условиях GL-1, но с более высокими требованиями к антифрикционным свойствам
3	С противозадирными присадками умеренной эффективности	Цилиндрические, конические, спирально-конические и гипoidные передачи, работающие при контактных напряжениях до 2500 МПа и температуре до 150 °С	GL-3	Обладают лучшими противозадирными свойствами, чем GL-2	Обычные трансмиссии со спирально-коническими шестернями, работающие в умеренно жестких условиях по скоростям и нагрузкам
4	С противозадирными присадками высокой эффективности	Цилиндрические, спирально-конические и гипoidные передачи, работающие при контактных напряжениях до 3000 МПа и температуре масла до 150 °С	GL-4	Обязательно наличие высокоэффективных противозадирных присадок	Автомобильные трансмиссии с гипoidной передачей, работающие в условиях больших скоростей при малых крутящих моментах и малых скоростях при высоких крутящих моментах
5	С присадками высокой эффективности и многофункционального действия	Гипoidные передачи, работающие с ударными нагрузками при контактных напряжениях выше 3000 МПа и температуре масла до 150 °С	GL-5	Должны содержать большое количество серофосфоросодержащей противозадирной присадки	Гипoidные передачи, работающие в условиях больших скоростей и малых крутящих моментов, при действии ударных нагрузок на зубья шестерен – при высоких скоростях скольжения

Классификации изготовителей автомобилей широко используются в эксплуатационной документации. Производители трансмиссионных масел получают одобрение (допуски) изготовителей автомобилей и маркируют свою продукцию соответствующими обозначениями.

При выборе трансмиссионного масла для эксплуатации в первую очередь следует руководствоваться рекомендациями производителя техники.

Трибологические характеристики

Трибологические характеристики определяют возможности смазочного материала обеспечивать уверенную работу агрегата с минимально возможными трением и износом.

Так, для групп масел по ГОСТ 17479.2 устанавливаются значения триботехнических характеристик, приведенные в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Триботехнические характеристики групп трансмиссионных масел

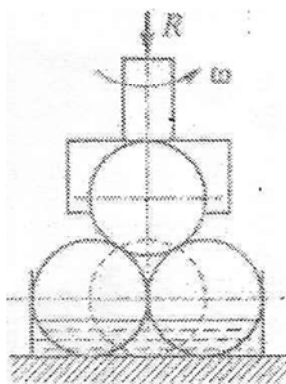
Определяемое свойство	Группа масла			
	1, 2	3	4	5
Предельная нагрузочная способность по нагрузке сваривания P_c , Н, не менее	2700	2760	3000	3280
Противоизносное свойство по показателю износа D_n при осевой нагрузке 392 Н при 20 ± 5 °С в течение 1 ч, мм, не более	0,5	-	-	0,4

Метод определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине трения

Установленный ГОСТ 9490 метод определения основных трибологических свойств жидких и пластичных смазочных материалов заключается в испытании на четырехшариковой машине при заданных осевых нагрузках и определении следующих параметров:

- противозадирных свойств по индексу задира I_3 ;
- несущей способности по критической нагрузке P_k ;
- предельной нагрузочной способности по нагрузке сваривания P_c ;
- противоизносных свойств по диаметру пятна износа D_n .

Испытание проводят на четырехшариковой машине, узел трения которой представляет собой пирамиду из четырех контактирующих друг с другом стальных шариков (рисунок).



Установка шариков

Три нижних шарика закрепляются неподвижно в чашке машины с испытуемым смазочным материалом. Верхний шарик, закрепленный в шпинделе машины, вращается относительно трех нижних под заданной нагрузкой с частотой вращения 1460 ± 70 об/мин. Проворачивание шариков в процессе испытания не допускается.

Используются шарики для подшипников по ГОСТ 3722–81 не ниже II степени точности, класс В из стали марки ШХ-15 по ГОСТ 801–78, диаметром $12,7 \pm 0,01$ мм.

Подготовка к проведению испытаний

Перед началом испытаний смазочного материала все детали машины, с которыми он соприкасается во время испытания (чашка с деталями крепления нижних шариков и детали крепления верхнего шарика в шпинделе), промывают нефрасом или другим растворителем, удаляющим смазочный материал с деталей, и просушивают на воздухе.

Шарики, применяемые при испытании, промывают несколькими порциями нефраса или другого растворителя, удаляющего смазочный материал с деталей, до тех пор, пока растворитель не будет прозрачным, и просушивают на воздухе.

Проведение испытаний

Испытание каждого смазочного материала проводят при температурах, установленных в НПА на испытуемый смазочный материал. ГОСТ 23652–79 устанавливает проведение испытаний трансмиссионного масла при температуре 20 ± 5 °С.

При испытании жидкого смазочного материала его заливают так, чтобы закрепленные в чашке шарики были полностью покрыты им. При испытании пластичного смазочного материала его наносят шпателем, не допуская образования пустот.

Если требуется проведение испытания при повышенных температурах, предварительно включают электронагреватель.

Температуру узла трения в месте расположения термопары поддерживают с погрешностью не более ± 5 °С.

Продолжительность работы машины от момента включения до момента выключения электродвигателя при установленной нагрузке в процессе определения критической нагрузки, нагрузки сваривания и индекса задира должна быть $10 \pm 0,2$ с, при определении показателя износа $60 \pm 0,5$ мин.

После остановки машины узел трения охлаждают ниже 40 °С и сливают жидкий смазочный материал или снимают ватным тампоном пластичный смазочный материал с участков трения на нижних шариках. Заусенцы по краям пятен износа удаляют шабером.

Затем чашку с нижними шариками устанавливают в приспособление и измеряют диаметры пятен износа каждого из трех нижних шариков в направлении скольжения и перпендикулярно ему в плоскости, перпендикулярной оптической оси объектива микроскопа. Для измерения используется микроскоп с увеличением 24 или больше, снабженный отсчетной шкалой с ценой деления 0,01 мм или менее. За результат измерения принимают среднее арифметическое значение измерений пятен износа нижних шариков в двух направлениях.

Сходимость: два результата определений, полученных одним исполнителем, признаются достоверными (с 95%-й доверительной вероятностью), если расхождение между ними не превышает установленных пределов.

Воспроизводимость: два результата определений, полученные в двух разных лабораториях, признаются достоверными (с 95%-й до-

верительной вероятностью), если расхождение между ними не превышает установленных пределов.

Для пластичных смазочных материалов сходимость и воспроизводимость устанавливаются только для показателя износа.

Определение критической нагрузки

Критической P_k , Н, считают нагрузку, при которой средний диаметр пятен износа нижних шариков находится в пределах значений предельного износа ($D_{ii} \pm 0,15$) для данной нагрузки и увеличение которой до величины последующей нагрузки вызывает увеличение среднего диаметра пятен износа на величину более 0,1 мм.

Выполняют ряд последовательных определений с убывающими или возрастающими нагрузками. Проводят два последовательных испытания.

За критическую нагрузку принимают меньшее из двух полученных значений.

Сходимость: разность между большим и меньшим значениями двух последовательных нагрузок в первом и втором нагрузочных рядах.

Воспроизводимость: разность между большим и меньшим значениями четырех последовательных нагрузок в первом и втором нагрузочных рядах.

Определение нагрузки сваривания

Нагрузкой сваривания P_s , Н, считают наименьшую нагрузку, при которой произошла автоматическая остановка машины при достижении момента трения 1180 ± 25 Н·см или сваривание шариков. Для смазочных материалов, у которых сваривание не наблюдается и момент трения ниже предельного, за нагрузку сваривания принимают ту, при которой образуется среднее пятно износа диаметром 3 мм и более.

Выполняют ряд последовательных определений с убывающими или возрастающими нагрузками. Проводят два последовательных испытания.

За нагрузку сваривания принимают меньшее из двух полученных значений.

Сходимость: разность между большим и меньшим значениями трех последовательных нагрузок в первом и втором нагрузочных рядах.

Воспроизводимость: разность между большим и меньшим значениями пяти последовательных нагрузок в первом и втором нагрузочных рядах.

Определение индекса задира

Индексом задира считают величину, вычисленную по формуле

$$I_3 = \Sigma Q_i / n, \text{ Н,}$$

где ΣQ_i – сумма условных нагрузок по ряду 1 от начальной нагрузки до ближайшей нагрузки, предшествующей нагрузке сваривания;

n – число определений по ряду 1.

Условную нагрузку Q_i для каждой осевой нагрузки по ряду 1 вычисляют по формуле

$$Q_i = P_i D_{Ti} / D_{ni}, \text{ Н,}$$

где P_i – осевая нагрузка по ряду 1;

D_{Ti} – средний диаметр пятен износа нижних шариков, мм, при нагрузке P_i ;

D_{ni} – диаметр зоны упругой деформации шариков по Герцу, мм, при нагрузке P_i .

При определении индекса задира испытание начинают с начальной нагрузки 196 Н. Последующие определения проводят с возрастающими нагрузками в соответствии с рядом 1 до нагрузки сваривания.

Сходимость: 39 Н по всему диапазону измеряемых величин.

Воспроизводимость: 117 Н по всему диапазону измеряемых величин.

Определение показателя износа

За показатель износа принимают среднее арифметическое значение результатов двух последовательных определений диаметров пятен износа.

Показатель износа определяют при постоянной нагрузке, установленной в ТНПА на смазочный материал. Основной является нагрузка 196 Н.

При установлении показателя износа проводят два последовательных определения.

Надежное определение показателя диаметра пятна износа обеспечивается при стабильном режиме трения (без вибраций, скрипа и т. д.). Для смазочных материалов, не обеспечивающих стабильного режима трения при снижении нагрузки до минимальной, показатель износа не определяется.

Сходимость и воспроизводимость определяют по графикам из ГОСТ 9490–75 отдельно для масел и смазок.

Содержание отчета

1. Краткие теоретические сведения.
2. Исходные данные для расчета индекса задира.
3. Расчетные формулы и результаты расчета.
4. Выводы.

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕНЕТРАЦИИ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК

Цель работы

1. Изучить международную и отечественную классификацию смазок пластичных, их функции и показатели качества.
2. Изучить метод определения пенетрации пластичных смазок.

Теоретические сведения

Классификация пластичных смазок

Смазки классифицируют по консистенции, составу и областям применения.

По консистенции смазки разделяют на полужидкие, пластичные и твердые. Пластичные и полужидкие смазки представляют собой коллоидные системы, состоящие из дисперсионной среды, дисперсной фазы, а также присадок и добавок. Твердые смазки до отвердевания являются суспензиями, дисперсионной средой которых служат смола или другое связующее вещество и растворитель, а загустителем – дисульфид молибдена, графит, технический углерод и т. п. После отвердения (испарения растворителя) твердые смазки представляют собой золи, обладающие всеми свойствами твердых тел и характеризующиеся низким коэффициентом сухого трения.

По составу смазки разделяют на четыре группы.

1. Мыльные смазки, для получения которых в качестве загустителя применяют соли высших карбоновых кислот (мыла). В зависимости от катиона мыла их разделяют на литиевые, натриевые, калиевые, кальциевые, бариевые, алюминиевые, цинковые, свинцовые и др. В зависимости от аниона мыла смазки одного и того же катиона разделяют на обычные и комплексные.

Комплексные смазки работоспособны в более широком интервале температур, чем обычные. Среди комплексных смазок наиболее распространены кальциевые, литиевые, бариевые, алюминиевые и натриевые. Кальциевые смазки, в свою очередь, разделяют на безводные, гидратированные и комплексные.

В отдельную группу выделяют смазки на смешанных мылах, в которых в качестве загустителя используют смесь мыл (литиево-кальциевые, натриево-кальциевые и др.; первым указан катион мыла, доля которого в загустителе большая).

Мыльные смазки в зависимости от применяемого для их получения жирового сырья называют условно синтетическими (анион мыла – радикал синтетических жирных кислот) или жировыми (анион мыла – радикал природных жирных кислот), например, синтетические или жировые солиноиды.

2. Неорганические смазки, для получения которых в качестве загустителя используют термостабильные с хорошо развитой удельной поверхностью высокодисперсные неорганические вещества. К ним относят силикагелевые, бентонитовые, графитные, асбестовые и другие смазки.

3. Органические смазки, для получения которых используют термостабильные, высокодисперсные органические вещества. К ним относят полимерные, пигментные, полимочевинные, сажевые и другие смазки.

4. Углеводородные смазки, для получения которых в качестве загустителей используют высокоплавкие углеводороды (петролатум, церезин, парафин, озокерит, различные природные и синтетические воски).

В зависимости от типа их дисперсионной среды различают смазки на нефтяных и синтетических маслах.

По области применения в соответствии с ГОСТ 23258–78 смазки разделяют на антифрикционные, консервационные, уплотнительные, канатные, многофункциональные и др.

Пенетрация

Пенетрация пластичных смазок (табл. 4.1) характеризует их пластичные свойства. Сущность метода определения пенетрации по ГОСТ 5346 заключается в определении глубины погружения в испытуемую смазку стандартного конуса за 5 с при 25 °С при общей нагрузке 150 г, выражаемой целым числом десятых долей миллиметра по шкале пенетрометра.

Таблица 4.1

Классификация смазок по penetrации

Класс по NLGI	000	00	0	1	2	3	4	5	6	7
Penetration при 25 °C, 10 ⁻¹ мм	445–475	400–430	355–385	310–340	265–295	220–250	175–205	130–160	85–115	До 75

Метод определения penetrации пластичных смазок

ГОСТ 5346–78 устанавливает три метода определения penetrации пластичных смазок: А, Б, В. Методом А определяют penetrацию до 400, методом Б – до 475 единиц. Методом В определяют penetrацию до 400 единиц при отсутствии в ТНПА на смазки ссылок на другие методы.

Penetration определяют у ненарушенной, перемешанной, продолжительно перемешанной и брикетированной пластичных смазок.

Предварительно смазку в таре или стакане для определения penetrации помещают в водяную баню при температуре $25 \pm 0,5$ °C и выдерживают достаточно продолжительное время для того, чтобы температура во всем объеме выровнялась.

При определении penetrации ненарушенной смазки испытуемую смазку оставляют в производственной таре, в которую смазка была упакована сразу после изготовления. Ровная поверхность смазки должна быть на уровне верхнего края тары. Допускается проводить испытание в производственной таре, диаметр которой больше диаметра стакана смесителя. Поверхность смазки может быть ниже верхнего ее края.

При определении penetrации перемешанной смазки масса смазки, взятой для испытания, должна быть не менее 0,5 кг. Если penetrация превышает 200 единиц, масса должна быть 1,5 кг. Часть смазки переносят из тары в собранный смеситель или металлический стакан, имеющий такие же внутренние размеры, как и стандартный смеситель. Смазку переносят одной порцией, чтобы смазка подвергалась по возможности меньшему механическому воздействию. Стакан

встряхивают для удаления пузырьков воздуха. Смазку выше края стакана снимают шпателем, под углом 45° к направлению движения, и немедленно определяют пенетрацию. Во время измерений не следует выравнивать и сглаживать поверхность смазки.

При определении пенетрации перемешанной смазки отбирают объединенную пробу смазки массой не менее 0,5 кг. Уровень смазки в центре стакана смесителя должен превышать край стакана приблизительно на 13 мм. С помощью шпателя удаляют пузырьки воздуха. В течение 60 с смазку перемешивают плунжером со скоростью 60 ± 10 двойных тактов. Структура перемешанной смазки должна быть однородной. Избыток смазки, выходящий за край стакана, снимают шпателем, наклоненным к направлению движения под углом 45° , и эту часть смазки в стакан не возвращают. Испытания проводят на одной и той же пробе три раза, возвращая выдавленную часть смазки в стакан.

При определении пенетрации продолжительно перемешанной смазки объединенную пробу перемешивают при определенном количестве двойных ходов поршня и темперруют. После этого перемешивают смазку 60 ± 10 двойными ходами поршня и затем пенетрацию определяют аналогично перемешанной смазке.

При определении пенетрации брикетированной смазки ножом для резания смазки вырезают для испытаний кубик с размером ребра 50 мм. Чтобы уменьшить влияние направления волокон смазки на окончательный результат, необходимо испытать три поверхности образца. У неволокнистых смазок и смазок с гладкой текстурой можно испытывать только одну поверхность. Проводят три определения на каждой поверхности образца на расстоянии не менее 6 мм от края образца, в точках, находящихся на возможно большем расстоянии одна от другой, чтобы избежать соприкосновения с уже нарушенной порцией смазки, воздушным пузырьком или другим дефектом на поверхности смазки. Если результат хотя бы одного определения отличается от других результатов более чем на три единицы, проводят дополнительные определения до тех пор, пока значения не будут отличаться более чем на три единицы. Вычисляют средние арифметические значения пенетрации для испытываемой поверхности и для всей брикетированной смазки.

Для всех методов определения пенетрации применяют прибор по ГОСТ 1440–78. Общий вид пенетрометра приведен на рис. 4.1.

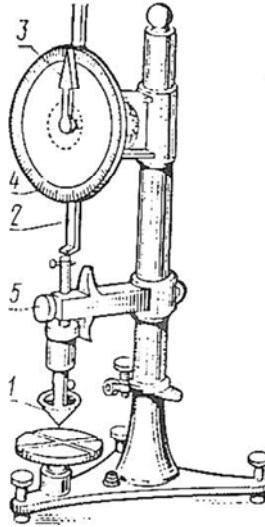


Рис. 4.1. Пенетромтр:
1 – конус; 2 – кремальера; 3 – стрелка циферблата;
4 – циферблат; 5 – пусковая кнопка

При свободном падении конус должен опускаться без особого трения не менее чем на 40 мм. Вершина конуса не должна касаться дна стакана. Для обеспечения оси конуса в вертикальном положении прибор имеет винты горизонтальной регулировки. Общая масса конуса составляет $(102,5 \pm 0,5)$ г, а масса плунжера – $(47,5 \pm 0,05)$ г.

При определении пенетрации по методу А, являющемся наиболее распространенным, конус устанавливают в положение «0». Если пенетрация смазки более 200 единиц, острие конуса должно касаться поверхности испытуемой смазки в центре, если пенетрация 200 или менее единиц, – проводят три определения в трех точках, расположенных на радиусах под углом 120° . Быстро отпускают ось конуса и дают ей возможность свободно падать в течение $5,0 \pm 0,1$ с. Механизм выключателя не должен тормозить движение оси. После этого ось индикатора опускают, мягко прижимая, пока она не остановится на оси конуса, и записывают показания индикатора.

За результат испытания принимают среднее арифметическое значение трех определений с точностью до единицы, соответствующей 0,1 мм, и указывают метод определения.

При определении пенетрации по методу Б используется пенетрометр по ГОСТ 1440–78. При свободном падении конус должен опускаться без значительного трения не менее чем на 62 мм. Оси пенетрометра и рейки, находящейся в зацеплении с измерительным диском, должны иметь соответствующие размеры для определения пенетрации смазки до 620 единиц.

При определении пенетрации по методу В используется пенетрометр по ГОСТ 1440–78 или пенетрометр типа Ричардсона с конусом, общая масса которого с плунжером должна быть $150 \pm 0,25$ г.

Точность метода А указана в табл. 4.2, метода В:

без перемешивания смазки сходимость 12 единиц, воспроизводимость 20 единиц;

с перемешиванием смазки сходимость 8 единиц, воспроизводимость 15 единиц.

Таблица 4.2

Точность определения пенетрации смазки для метода А

Вид смазки	Диапазон пенетрации	Сходимость	Воспроизводимость
	0,1 мм		
Ненарушенная	От 85 до 400	–	–
Неперемешанная	От 85 до 400	6	18
Перемешанная	От 130 до 400	5	14
Продолжительно перемешанная	От 130 до 400	7*	23*
брикетированная	До 85	3	7

* Определена при 60 000 двойных тактах поршня.

Содержание отчета

1. Цель и задачи лабораторной работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Результаты измерений.
4. Выводы.

Лабораторная работа № 5

КВАЛИФИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ПРОТИВОИЗНОСНЫХ СВОЙСТВ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ ГИДРОСИСТЕМ

Цель работы

1. Изучить конструкцию и принцип действия стенда для квалификационной оценки противоизносных свойств рабочих жидкостей гидросистем.
2. Освоить методику проведения испытаний.

Описание установки

Установка для квалификационной оценки противоизносных свойств масел (рабочих жидкостей) для гидросистем состоит из насосного узла, элементов гидроаппаратуры, системы охлаждения с теплообменником, системы низкого давления с гидроаккумулятором и контрольно-измерительных приборов. Конструктивное исполнение гидроустановки предусматривает прокачивание объема испытываемой рабочей жидкости под давлением в насосном узле в режиме дроссельного нагружения. Насосный узел и элементы гидросистемы изготовлены в виде единого узла. Схема гидравлическая принципиальная приведена на рисунке.

Насосный узел состоит из пластинчатого насоса типа Г12-21А, посредством резинометаллической муфты соединенного с асинхронным электродвигателем серии АОЛ-32-4. Насосный патрон пластинчатого насоса, состоящий из ротора, статора, пластинок и распределительных дисков, подлежит замене при проведении серии оценки противоизносных свойств каждого нового типа масла. Регулирование давления жидкости (рабочее давление) в насосном узле осуществляется дросселем при вращении микрометрического винта с конусной иглой. Гидравлическое соединение насосного узла с элементами гидросистемы установки осуществлено внутренними каналами, выполненными в корпусе и крышке насоса. Для ограничения максимального значения рабочего давления при испытании предусмотрен предохранительный клапан, соединяющий зону нагнетания насосного узла с каналом низкого давления. Пластинчатый насос и электродвигатель установлены на специальной раме.

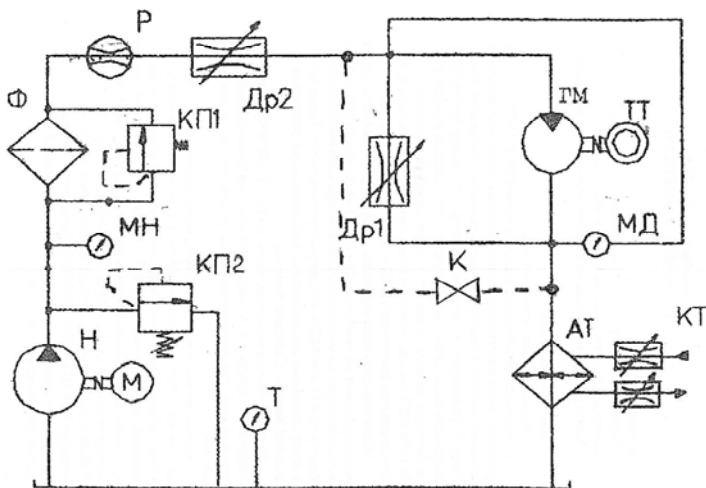


Схема гидравлическая принципиальная стенда для исследования противоизносных свойств рабочих жидкостей

Система низкого давления обеспечивает сохранение характеристик рабочей жидкости (температуры, содержания механических примесей) в требуемых пределах и улучшает режим работы насоса в линии всасывания.

Система низкого давления содержит: теплообменник, фильтр, бак, систему маслопроводов.

Теплообменник выполнен в виде спиральной трубки, установленной в цилиндре. Конструктивно теплообменник установлен на крышке насоса. Охлаждающая жидкость (вода) подается по гибким шлангам в цилиндр теплообменника, омывает спиральную трубку и возвращается в систему слива. Температура испытываемой рабочей жидкости определяется величиной расхода охлаждающей жидкости, регулируемой краном.

Фильтр установки представляет собой камеру со сменными фильтроэлементами, выполненную на крышке теплообменника. Различная степень очистки рабочей жидкости может быть достигнута установкой фильтроэлементов различных типов (бумажные, сетчатые, металлокерамические и т. п.).

Для измерения температуры рабочей жидкости в установке предусмотрен термометр в металлическом корпусе, который вводится

рабочей частью в зону низкого давления. Контроль рабочего давления проводится по образцовому манометру типа МО-160/100, установленному на передней панели установки.

Пускатель и кнопочная станция запуска электродвигателя закреплены на передней панели установки.

Основные технические показатели установки

Номинальное давление, МПа	7±0,1
Максимальное давление, МПа	10±0,5
Объем испытываемой жидкости, л	0,7
Частота вращения вала насоса, об/мин	940±30
Мощность электродвигателя, кВт	2,2
Диапазон регулирования температуры жидкости, °С	35–110
Подача насоса (при объемном КПД не ниже 0,65), л/мин	5,4±0,5
Габаритные размеры, мм	600×700×950

Методика испытаний

Метод квалификационной оценки противоизносных свойств масел (рабочих жидкостей) для гидросистем заключается в испытании масла путем прокачивания через пластинчатый насос с избыточным давлением на его выходе в течение 50 ч.

При оценке противоизносного свойства масел применяются:

- установка с пластинчатым насосом;
- лабораторные аналитические весы I класса с погрешностью показаний не более ±0,2 мг с предельной нагрузкой 200 г (типа ВЛР-200).

Основные детали насосного патрона установки (комплект пластин, статор, ротор, распределительные диски) должны подбираться в строгом соответствии с техническими условиями по рабочим чертежам завода-изготовителя.

Перед испытанием каждого сорта масла на установке с насосным патроном, собранным из новых деталей, проводят обкатку длительностью 10 ч по режиму, указанному в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Наименование режима	Давление, МПа	Температура, °С	Длительность
Холодная обкатка	2,5	20–30	5 мин
Недогруженная обкатка	4,0	30–40	10 мин
Недогруженная обкатка	5,5	40–50	15 мин
Нагруженная обкатка	7,0	52±2	9,5 ч

Обкатку установки проводят на испытуемом масле (объем 0,7 л). После окончания обкатки установку разбирают для удаления продуктов износа и отложений, определения соответствия деталей насосного патрона техническим условиям.

При обнаружении после обкатки дефектных деталей насосного патрона (пластинок, статора, ротора, распределительных дисков) последние подлежат замене и обкатку повторяют.

Рабочая поверхность статора после обкатки должна быть приработана по всей окружности. На верхней сферической кромке пластинок должна быть четко видна площадка трения с шириной 0,8–1,0 мм.

Детали насосного патрона (пластинки, статор) маркируют химическим (электрическим) способом. Комплект пластинок установки промывают в бензине, в дистиллированной воде, просушивают и каждую пластинку в отдельности и комплект в целом взвешивают на аналитических весах с точностью $\pm 0,2$ мг. Результаты взвешивания заносят в протокол.

Установку собирают в соответствии с описанием, заполняют испытуемой рабочей жидкостью (объем 0,7 л) и проводят приработку насосного патрона длительностью 30 мин при следующем режиме: давление $7 \pm 0,1$ МПа, температура 52 ± 2 °С. При приработке оценивают работоспособность установки. После периода приработки рабочую жидкость полностью сливают из системы не позднее 10 мин после остановки.

Перед испытанием проводят оценку следующих физико-технических свойств оцениваемого масла:

- а) кинематическая вязкость при 40 °С;
- б) количественное содержание воды;
- в) гранулометрическое содержание механических примесей;
- г) плотность.

Устанавливают новый фильтроэлемент. Выполняют заправку исследуемой рабочей жидкости.

После запуска двигателя вывод установки на рабочий режим проводят ступенчато: 1–2 мин работы на каждом уровне давления – 2,5; 4,0; 5,5; 7,0 МПа, включают охлаждающую жидкость (воду), устанавливают требуемую температуру и отмечают время начала испытаний на рабочем режиме.

Испытания проводят без смены масла в течение 50 ч при следующих режимах: давление $7 \pm 0,1$ МПа; температура 52 ± 2 °С.

При обнаружении неисправностей в работе установки или нарушении установленного режима и условий испытаний необходимо принять меры по их устранению. Объем доливок масла на восполнение утечек не должен превышать 5 % от испытываемого объема (т. е. не более 35 мл).

При перерывах работы установки (межсменных) время выхода на рабочий режим исключают из общего времени наработки.

После выполнения полного объема испытаний (50 ч) объем рабочей жидкости полностью сливают из установки и оценивают изменение физико-химических свойств. Установку разбирают, детали насосного патрона очищают, проводят дефектовку пластинок и подготавливают их к взвешиванию на аналитических весах.

Порядок обработки результатов оценки противоизносных свойств масел

Противоизносное свойство масел (П) оценивают по значению массового износа M_i комплекта пластинок насоса после установленного периода наработки по формуле

$$\Delta M_i = M_{oi} - M_{ui},$$

где M_{oi} , M_{ui} – масса каждой пластинки до испытания и после 50 ч наработки.

Оценку противоизносных свойств масел следует производить по результатам двух-трех последовательных испытаний по 50 ч каждое, причем данные испытания проводятся на одном обкатанном насосном патроне без предварительной приработки перед вторым и третьим испытаниями.

С учетом сходимости результатов испытаний нормируется следующая категория качества испытуемых образцов масел (табл. 5.2): высокая, удовлетворительная, неудовлетворительная.

Таблица 5.2

Рекомендуемый диапазон измеряемого свойства, мг	Категория качества измеряемого свойства, мг
5–25	Высокая
25–75	Удовлетворительная
Свыше 75	Неудовлетворительная

Заключение о противоизносном свойстве масла дается в том случае, если после 50 ч испытаний показатели физико-химических свойств исследуемого масла находились в пределах, заданных в технических условиях на рабочую жидкость.

Содержание отчета

1. Цель и задачи лабораторной работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Принципиальная схема установки.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Функция рабочей жидкости и ее влияние на работу гидросистем привода.
2. Какие существуют методы оценки свойств масел и присадок?
3. Из каких элементов состоит испытательная установка и каково их функциональное назначение?
4. Методика исследований.
5. Порядок обработки результатов испытаний.

Лабораторная работа № 6

ИСПЫТАНИЯ ФИЛЬТРОВ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

Цель работы

1. Изучение конструкции и принципа действия универсального стенда для испытания фильтров рабочих жидкостей.
2. Освоение методик испытаний.

Универсальный стенд

Универсальный стенд предназначен для проведения комплекса лабораторных работ по изучению методик испытаний фильтров рабочих жидкостей.

Универсальный стенд состоит из станины, на которой установлен бак емкостью 50 л, а также все гидравлическое и электрическое оборудование. Аппаратура управления, регулирования и контроля установлена на передней панели. Гидробак стенда имеет коническое дно с углом около 90° , рубашку охлаждения. Внутри бака установлены датчик температуры T и мешалка, приводимая от электродвигателя ЭД2. Регулирование расхода осуществляется с помощью дросселей Др1, Др2 и Др3.

Снятие характеристик осуществляется с помощью манометров $M1$, $M2$, дифманометра ДМ и расходомера Р. Для отбора проб на стенде предусмотрены краны $K1$, $K2$.

Принципиальная схема стенда приведена на рис. 6.1.

Проверка герметичности и прочности фильтров

Прочность: испытываемый фильтр выдерживают в течение 3 мин под давлением рабочей жидкости $1,5 P_{ном}$. В этом случае не допускаются запотевание наружных поверхностей корпуса и утечки рабочей жидкости через уплотнения.

Герметичность: чистый фильтроэлемент выдерживают в рабочей жидкости не менее 5 мин. Затем во внутреннюю полость подводят воздух под давлением, указанным в стандартах на данный тип фильтров, и фильтроэлемент проворачивают вокруг главной оси на 360° .

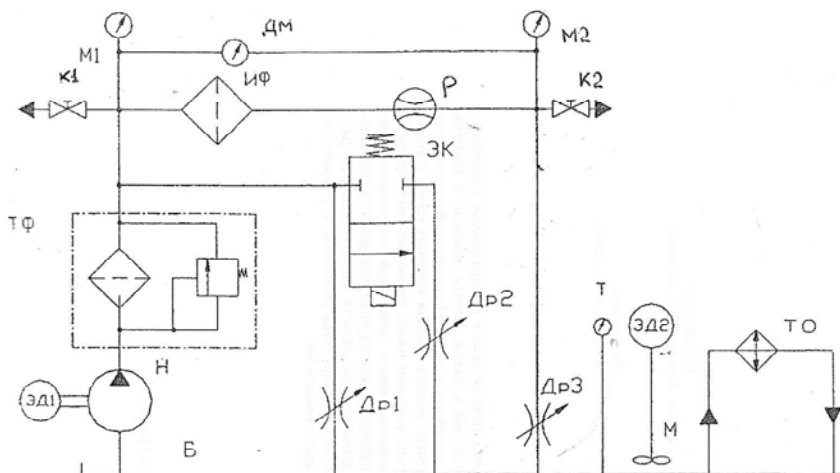


Рис. 6.1. Принципиальная схема универсального стенда для испытаний фильтров рабочих жидкостей

Фильтроэлемент считается выдержавшим испытания, если отсутствует выделение пузырьков воздуха.

Проверка предельного перепада давления на фильтре

При номинальном расходе жидкости определяется перепад давлений на корпусе фильтра. Затем в корпус устанавливают фильтроэлемент и определяют перепад давлений на фильтре.

Постепенно в систему вводят искусственный загрязнитель до тех пор, пока перепад давлений на фильтре при номинальном расходе не достигнет предельного значения.

Фильтроэлемент считается выдержавшим испытания, если отсутствуют нарушение герметичности фильтра и видимые следы повреждений.

Проверка совместимости фильтра с рабочей жидкостью

Для проверки совместимости фильтроэлемент погружают в рабочую жидкость на время не менее 72 ч при температуре, повышенной на 15–20 °С от максимально допустимой в системе. После

этого фильтр подвергают испытаниям на проверку гидравлической характеристики, номинальной тонкости и предельного перепада давлений.

Проверка прочности фильтра при номинальной аксиальной нагрузке

Фильтроэлемент подвергают проверке на совместимость с рабочей жидкостью. Затем в течение 5 мин фильтроэлемент подвергают номинальной аксиальной нагрузке, после чего проводят испытания на проверку предельного перепада давлений.

Проверка грязеемкости фильтра

Определяют значения перепадов давлений на фильтре при постоянном расходе и изменении температуры рабочей жидкости от $t_{\text{ном}} = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t_{\text{ном}} = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$. По данным опытов строят зависимость перепада давления от температуры.

Затем в систему вводят искусственный загрязнитель до тех пор, пока при постоянном расходе и температуре перепад давления не достигнет максимального значения.

Грязеемкость определяют по массе и количеству навески вводимого загрязнителя.

Проверка ресурса фильтров

Испытания проводят на стенде с цикличным изменением давления рабочей жидкости. После отработки циклов нагружения, число которых указано в стандартах на данный фильтр, разрушение фильтра не допускается.

Проверка предохранительного клапана и индикатора загрязненности фильтра (при их наличии)

Испытание проводят при снятом фильтроэлементе, вместо него устанавливают технологическую заглушку.

Герметичность предохранительного клапана проверяют выдержкой фильтра под соответствующим давлением в течение времени, указанного в стандартах.

При плавном увеличении перепада давлений на фильтре фиксируют момент срабатывания предохранительного клапана или индикатора загрязненности. Полученное значение сравнивают с приведенным в стандартах.

При пропускании через предохранительный клапан жидкости с номинальным расходом фиксируют значение перепада давлений, которое не должно превышать приведенного в стандарте.

Проверка наработки до отказа осуществляется при циклически изменяемом перепаде давлений. Число срабатываний индикатора загрязненности и предохранительного клапана должно соответствовать указанному в стандартах на данный фильтр.

Проверка номинальной тонкости фильтра

При проведении испытаний в чистый бак стенда заливают необходимое количество предварительно очищенной рабочей жидкости марки, указанной в стандартах или технических условиях на конкретные виды фильтров.

После пятикратной очистки рабочей жидкости технологическим фильтром в его корпус устанавливают испытуемый фильтроэлемент, прошедший испытания на прочность и герметичность. Отключают технологический фильтр. Устанавливают номинальный расход рабочей жидкости через испытуемый фильтроэлемент.

В бак при работающей мешалке вводят искусственный загрязнитель, предварительно размешанный в 0,5 л рабочей жидкости. Загрязненную рабочую жидкость перемешивают для получения равномерного распределения загрязнителя. Затем включают насос и через время, указанное в стандартах или технических условиях на конкретные виды фильтроэлементов, в промытую посуду отбирают две пробы рабочей жидкости до и после фильтра в количестве 150–200 мл каждая. Время между отбором проб до и после фильтра не должно превышать 30 с.

Пробы рабочей жидкости подвергают анализу на определение гранулометрического состава загрязнений с помощью микроскопа или автоматических счетчиков частиц.

По группам подсчитывают количество частиц загрязнений в пробе размером от 3 мкм и более, от 10 мкм и более, от 40 мкм и более. Размер частиц принимают по наибольшему измерению. Для каждой

группы размеров подсчитывают коэффициент очистки как отношение количества частиц до фильтра и после него.

Определение гидравлической характеристики фильтра

Испытание проводят на стенде, схема которого приведена на рис. 6.1, с использованием рабочей жидкости, имеющей вязкость и плотность, указанную в стандартах на фильтр.

Последовательность испытания следующая.

В бак заливают рабочую жидкость, удаляют из системы воздух, обеспечивают заданную вязкость и жидкость прокачивают через технологический фильтр. После пятикратной очистки рабочей жидкости в системе проводят измерение перепада давлений на корпусе фильтра без испытываемого фильтроэлемента в зависимости от расхода. Увеличивая значение расхода десятью приращениями от 0 до 1,2 номинального расхода, измеряют перепад давлений. Затем повторяют испытание, уменьшая значение расхода до 0, фиксируют среднее значение результатов, полученных при увеличении и уменьшении расхода.

Затем испытываемый фильтроэлемент, прошедший испытания на герметичность, устанавливают в корпус фильтра и аналогичным способом для корпуса фильтра с фильтроэлементом определяют зависимость перепада давлений от расхода.

Перепад давлений на фильтроэлементе определяют как разность перепадов давлений фильтра с фильтроэлементом и корпуса фильтра и представляют графически или таблицей результатов (табл. 6.1) в виде зависимости перепада давлений от расхода жидкости.

Таблица 6.1

Таблица результатов

Расход, л/мин	Перепад давлений						на фильтро- элементе
	корпуса			в сборе			
Q	1	2	средний	1	2	средний	

По графику или таблице находят значение номинального перепада давлений при номинальном расходе, который не должен превышать приведенный в стандартах на данный фильтр.

Содержание отчета

1. Цель и задачи работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Схема стенда.
4. Таблица результирующих значений (график).
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Фильтрация рабочих жидкостей и ее влияние на работу гидросистем.
2. Методы фильтрования и типы фильтров.
3. Метод определения гидравлической характеристики фильтров.
4. Основные параметры фильтров и методы их контроля.

ОЦЕНКА ЧИСТОТЫ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

Цель работы: изучить требования к чистоте рабочих жидкостей, методы оценки степени загрязненности жидкости и схемы установки фильтров в гидросистемах.

Фильтрация рабочих жидкостей

При соблюдении требований к чистоте гидросистемы удается повысить ее надежность и уменьшить эксплуатационные расходы в среднем на 50 %. Повышение тонкости фильтрации рабочей жидкости (РЖ) в гидросистеме с 25 до 5 мкм увеличивает ресурс насосов в 10 раз и гидроаппаратуры в 5–7 раз. Однако наибольший эффект очистки обеспечивает лишь при соблюдении требований по типам применяемых масел, правилам их хранения и транспортирования, качеству очистки и герметизации гидросистем, регламентам их эксплуатации.

Для предварительной оценки степени загрязненности может применяться метод, при котором на белую бумагу с хорошим влагопоглощением наносятся несколько капель масла из работающего гидропривода. При свежем масле образуется светлое желтое пятно, а по мере загрязнения цвет пятна становится более темным, причем на бумаге хорошо видны частицы грязи. Содержание воды может оцениваться по результатам кипячения пробы (если мутное масло становится прозрачным, значит, имеется вода и использование масла недопустимо). Для количественной оценки степени загрязненности в настоящее время существует большое количество приборов, в том числе портативных.

В процессе эксплуатации гидропривода фильтры обеспечивают необходимую чистоту масла, работая в режимах полнопоточной (рис. 7.1, а–в) или пропорциональной (рис. 7.1, г–ж) фильтрации во всасывающей, напорной или сливной линиях гидросистемы.

Фильтры могут оснащаться средствами визуальной или электрической индикации загрязненности, а также перепускным клапаном. Наличие последнего позволяет защитить фильтроэлемент от разрушения, однако часто приводит к опасному заблуждению – уверен-

ности эксплуатационников в чистоте гидросистемы, в то время как фильтр практически не работает. Поскольку фильтр эффективно защищает лишь элемент гидросистемы, установленный непосредственно после него (остальные элементы защищены частично), схемы фильтрации обычно содержат комбинацию фильтров, установленных на разных линиях гидросистемы:

- всасывающей и напорной (рис. 7.1, з);
- всасывающей и сливной (рис. 7.1, и);
- напорной и сливной (рис. 7.1, к);
- всасывающей, напорной и сливной (рис. 7.1, л).

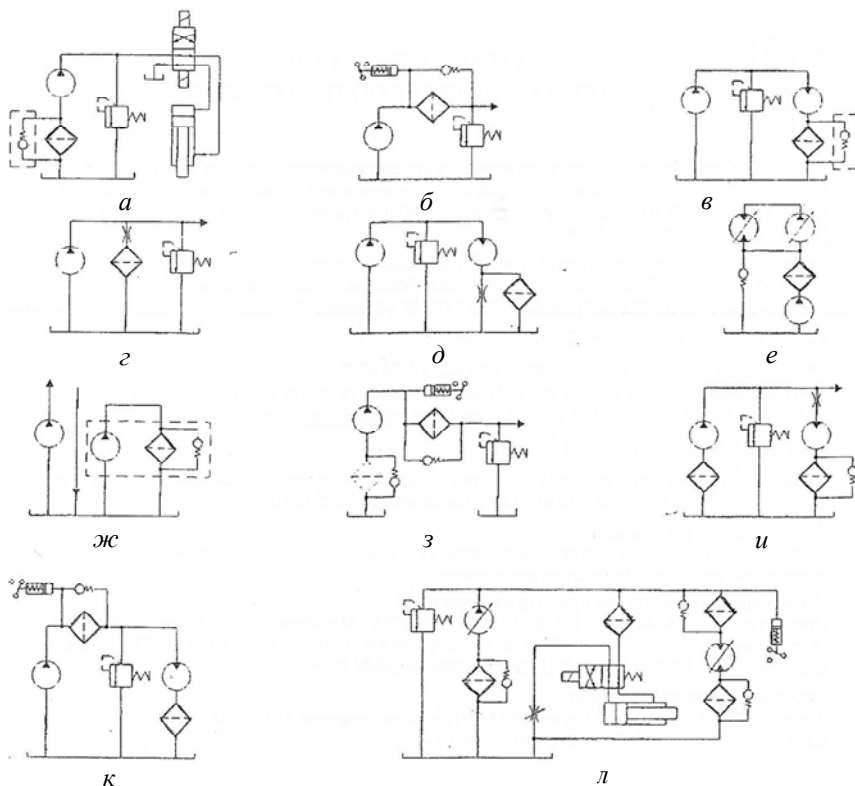


Рис. 7.1. Схемы установки фильтров в гидросистемах

При выборе типа фильтра и места его установки следует учитывать, что приемные (всасывающие) фильтры ухудшают всасываю-

шую способность насосов, поэтому тонкость их фильтрации обычно составляет 80–160 мкм (грубая очистка). Всю гидросистему (за исключением насоса) защищают напорные фильтры, однако они отличаются повышенной материалоемкостью, а следовательно, стоимостью. Сливные фильтры исключают возможность попадания загрязнений (в том числе продуктов износа гидроагрегатов) в бак и во многих случаях являются предпочтительными. Для высоконадежной защиты наиболее ответственных узлов гидропривода (например, дросселирующих гидрораспределителей) непосредственно перед ними устанавливаются напорные фильтры без перепускного клапана с фильтроэлементом, выдерживающим полный перепад давлений. Рекомендуемая пропускная способность полнопоточных напорных и сливных фильтров – не менее 1/3 объема гидробака в минуту. Когда через фильтр может проходить дополнительный поток РЖ (из аккумулятора, при работе дифференциального цилиндра и т. п.), пропускная способность должна соответственно увеличиваться. Впрочем, в пределах имеющегося для размещения фильтра рабочего пространства всегда лучше устанавливать фильтр с запасом по пропускной способности и грязеемкости.

Следует отметить, что чистота гидросистемы прямо связана с ее герметичностью, поскольку замена или доливка РЖ всегда сопровождается внесением дополнительных загрязнений. Установлено, что в состоянии поставки даже лучшие РЖ имеют класс чистоты не выше 12 по ГОСТ 17216 или 17/16 по ИСО 4406, поэтому в процессе заправки гидросистем рекомендуется использовать специальные агрегаты обслуживания, обеспечивающие тонкую очистку заливаемой РЖ; возможна также заправка через сливной фильтр или фильтр байпасного контура. В процессе эксплуатации гидросистем периодически проверяют чистоту РЖ с помощью счетчиков частиц загрязнений. При этом проба обычно берется из сливной линии перед фильтром во время работы гидросистемы или сразу после ее выключения с целью обеспечения необходимого уровня перемешивания жидкости.

Требованиями к чистоте РЖ устанавливается либо тонкость фильтрации, либо класс чистоты. В соответствии с ГОСТ 17216 установлены 19 классов чистоты. По стандарту ИСО 4406 в 1 см³ пробы РЖ определяется количество загрязняющих частиц размером свыше 5 и свыше 15 мкм, после чего по таблице определяются коды (классификационные числа), которые указываются в классе чистоты

по ИСО (по ИСО устанавливаются размерные группы частиц больше или равными 4, больше или равными 6 и больше или равными 14 мкм, а в обозначении класса чистоты последовательно указываются их коды, например 9/7/5).

Классы чистоты масла для различных узлов гидропривода приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Классы чистоты масла для различных узлов гидропривода

Узлы гидропривода	Номинальная тонкость фильтрации, мкм	Класс чистоты по ГОСТ 17216
Насосы шестеренные ($p < 2,5$ МПа); насосы пластинчатые нерегулируемые ($p < 6,3$ МПа)	40	14–15
Насосы пластинчатые нерегулируемые ($p = 12,5–16$ МПа); насосы пластинчатые регулируемые ($p < 6,3$ МПа); насосы и моторы аксиально-поршневые регулируемые и нерегулируемые ($p = 6,3–16$ МПа); гидроцилиндры; направляющая гидроаппаратура ($p < 20$ МПа); регулирующая гидроаппаратура ($p < 20$ МПа)	25	12–4
Комплектные ЭГШП, дросселирующие гидрораспределители, сервотехника	5-10	10–12
Системы и устройства для гибких автоматизированных производств	5	9–10

Прибор для проверки чистоты рабочей жидкости ПКЖ-902

Прибор выполнен переносным. На передней панели расположены цифровое табло для индикации результатов измерения, индикатор «Измерение», кнопки «ПУСК», «СТОП», тумблер «СЕТЬ». Сверху прибор закрывается кожухом, на котором имеется ручка для переноски.

Работа прибора основана на регистрации светочувствительным элементом (ФЭУ) света, отраженного отдельными частицами загрязнений (иностраных частиц), находящихся в потоке контролируемой жидкости. Использование зависимости интенсивности отраженного света от размеров частиц позволяет производить анализ частиц по размерам.

Датчик имеет следующие основные элементы (рис. 7.2). На одной геометрической оси расположены приемный канал 5, конусное сопло 8, объектив 3, а также установленные под 45° к оси зеркало 7 и перпендикулярно к оси фотоэлектронный умножитель 6 и диафрагма 1. Источником света является лампа 2, установленная вместе с линзой 4 в объективе 3.

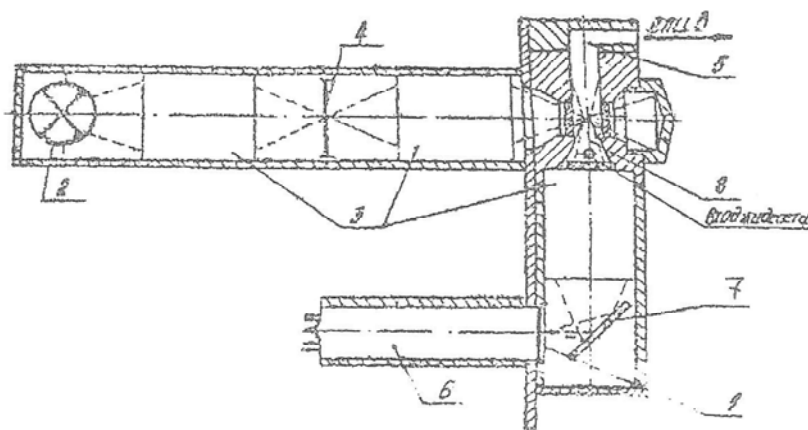


Рис. 7.2. Принцип работы датчика прибора ПКЖ-902

Контролируемая жидкость (см. рис. 7.2) через подводящий канал подается в сопло 8, на выходе из которого в приемном канале 5 формируется затопленная струя, пересекающая луч света в его сфокусированной части. Диаметр сопла выбирается таким, чтобы диаметр струи жидкости в месте пересечения с лучом света был равным или несколько меньшим диаметра луча, что позволяет контролировать всю жидкость, проходящую через датчик. Объем, образованный указанным пересечением, является чувствительным объемом, который находится в поле зрения ФЭУ.

Инеродные частицы, находящиеся в жидкости, проходя вместе с потоком через чувствительный объем, создают импульсы отраженного света, которые регистрируются ФЭУ. Длительность импульсов равна времени прохождения частицы через чувствительный объем, а амплитуда определяется размерами частиц.

К датчику прибора подстыковывается воронка для заливки и подготовки пробы жидкости к анализу. Воронка имеет верхнюю и нижнюю риски, между которыми заключено 100 см^3 ее внутреннего объема.

Электрические импульсы с выхода ФЭУ усиливаются и анализируются по амплитуде платой усилителя, с которой они в виде кода поступают на плату управления. В соответствии с кодом селектор на плате управления подает импульсы на входы той или иной группы десятичных счетчиков на плате индикации.

Питание прибора осуществляется от платы питания. Высокое напряжение для питания ФЭУ получается в высоковольтном стабилизаторе путем преобразования постоянного напряжения в переменное с последующим выпрямлением.

Подготовка прибора к работе

Прибор должен быть установлен на столе в чистом помещении (лаборатории) или пылезащитном блоке. Контроль запыленности атмосферы, в которой используется прибор, должен производиться прибором контроля запыленности воздуха типа ПКЗВ-905 или другими средствами измерения запыленности, обеспечивающими не меньшую чувствительность. При этом чистота воздуха должна соответствовать 1-му классу чистоты помещений. Аналогичному контролю необходимо подвергать воздух, используемый для выдавливания проб жидкости из воронки прибора.

Перед контролем каждой пробы гидравлический тракт прибора (от входного штуцера воронки до выходного штуцера крана) тщательно промыть чистой жидкостью (например, керосином) до получения установившихся идентичных показаний, отличающихся одно от другого (по сумме всех диапазонов) не более чем на 30 %. Очистку жидкости производить в малогабаритной центробежной установке типа УМЦ-901А или другими средствами, обеспечивающими не меньшую тонкость и производительность очистки.

Для контроля чистоты жидкости 3, 4, 5-го и других классов чистоты по ГОСТ 17216–2001 чистота промывочной жидкости должна соответствовать уровню не более 100 частиц по сумме всех диапазонов в 100 см^3 жидкости.

Действия по подготовке прибора к работе при контроле отдельных проб жидкости:

1. Включить тумблер «Сеть».
2. Клемму заземления на задней стенке соединить с общим контуром заземления.
3. Шнур питания подсоединить к сети с напряжением 220 В, частотой 50 Гц.
4. Поставить тумблер в положение «Вкл.». При этом должны засветиться индикаторные лампы на табло, причем допускается отсутствие свечения отдельных ламп и сегментов. Время самопрогрева прибора 30 мин, в том числе последние 5 мин при нажатой кнопке «Пуск».
5. Кран датчика соединить с емкостью для слива жидкости.
6. Промыть гидравлический тракт прибора.
7. К штуцеру воронки подсоединить шланг от воздушной сети через систему подготовки воздуха.
8. Отвернуть накидную гайку и снять крышку воронки.
9. В воронку залить чистую промывочную жидкость до верхней кольцевой отметки.
10. Закрыть крышку воронки, завернув накидную гайку.
11. Редуктором установить минимальное давление воздуха.
12. Открыть краны слива и подачи воздуха. Увеличивая редуктором давление воздуха в воронке, произвести выдавливание жидкости из воронки через датчик на слив до тех пор, пока свободная поверхность жидкости не достигнет нижней кольцевой отметки. Закрыть краны.
13. Повторяя п. 12 и отмечая с помощью секундомера время прохождения свободной поверхностью жидкости расстояния от верхней до нижней отметки (между которыми объем 100 см^3), редуктором установить расход жидкости 0,3–0,4 л/мин. Записать фактическое значение расхода.
14. Сделать выдержку не менее 1 мин для удаления из жидкости газовых пузырей.
15. Нажать кнопку «Пуск». Должна загореться лампочка «Измерение», а на цифровом табло засветятся нули.

16. Открыть краны.

17. При достижении свободной поверхностью жидкости нижней отметки нажать кнопку «Стоп», закрыть кран подачи воздуха, не допуская, чтобы свободная поверхность жидкости ушла за пределы видимости. Записать показания табло. При необходимости перед контролем каждой пробы доливать промывочную жидкость до уровня нижней отметки.

18. Повторить действия до получения установившихся идентичных показаний табло (отличие двух смежных замеров по суммам показаний всех диапазонов не более 30 %).

Промывку гидравлического тракта прибора допускается производить контролируемой жидкостью до получения установившихся идентичных показаний прибора (отличие результатов замеров не более 30 %; в каждом замере брать сумму показаний всех диапазонов табло).

Порядок работы при контроле отдельных проб жидкости

1. Открыть крышку воронки.

2. Залить пробу контролируемой жидкости до уровня верхней отметки.

3. Произвести операции по замеру.

4. Дать заключение о чистоте жидкости в соответствии с ГОСТ 17216–2001.

Содержание отчета

1. Цель лабораторной работы.

2. Краткое описание методики оценки класса чистоты и индекса загрязненности жидкости.

3. Схема стенда для оценки класса чистоты и индекса загрязненности.

4. Таблица результатов измерений и расчеты.

5. Выводы.

Вопросы для самопроверки

1. Какие схемы установки фильтров используются в гидросистемах?

2. Что такое тонкость фильтрации?
3. Сколько классов чистоты жидкости установлено ГОСТ 17216–2001?
4. Какие классы чистоты жидкости рекомендуются для гидропривода?
5. Как выбираются класс тонкости фильтрации и место установки фильтра?
6. Какие приборы используются для определения загрязненности?

Литература

1. Свешников, В. К. Станочные гидроприводы : справочник / В. К. Свешников. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2004. – 512 с.
2. Чистота промышленная. Классы чистоты жидкостей : ГОСТ 17216–2001.

Лабораторная работа № 8

УПЛОТНИТЕЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ УСТРОЙСТВ И ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОСИСТЕМ

Цель работы: изучить различные виды уплотнений подвижных и неподвижных соединений устройств и элементов гидросистем.

Назначение уплотнений

Уплотнительные устройства (уплотнения) применяют в подвижных и неподвижных соединениях конструкций для разделения сред с различными физическими свойствами или параметрами. Несмотря на свою простоту и небольшие габаритные размеры, уплотнения выполняют исключительно ответственные функции. Полной стандартной классификации уплотнений, устанавливающей их иерархическую зависимость, пока не создано.

В данной работе рассматриваются только основные виды уплотнений неподвижных и подвижных соединений гидросистем. В качестве уплотнений применяются различные уплотнительные средства: полимерные уплотнительные материалы, картон, фибра, паронит, кожа, резина, каучук, пластмассы и герметики, металлы. В справочной литературе подробно изложены их физико-механические свойства.

Уплотнение неподвижных соединений

Уплотнение неподвижных соединений (УН) осуществляется преимущественно контактными, реже диафрагменными уплотнениями и уплотнениями с герметиками, а также притертыми поверхностями.

Назначение УН – исключить взаимное проникновение сред (утечки) через соединение при сохранении возможности его разборки. По специфике герметизации УН подразделяют на эластомерные кольца и прокладки, металлические и неметаллические прокладки, газонаполненные кольца и комбинированные уплотнения.

При конструировании мест установки под эластичные кольца руководствуются следующими основными правилами:

– начальная деформация сечения кольца должна обеспечивать необходимое контактное давление во всех условиях эксплуатации;

– кольцо, установленное в канавке, не должно перемещаться под нагрузкой;

– объем канавки должен быть больше кольца с учетом допусков на изготовление и набухание кольца под действием среды;

– поверхность сопрягаемых с кольцом деталей должна иметь оптимальную шероховатость (ГОСТ 9833).

Существует множество способов установки колец. На рис. 8.1 представлены некоторые схемы установки кольца круглого сечения в посадочные места неподвижных соединений.

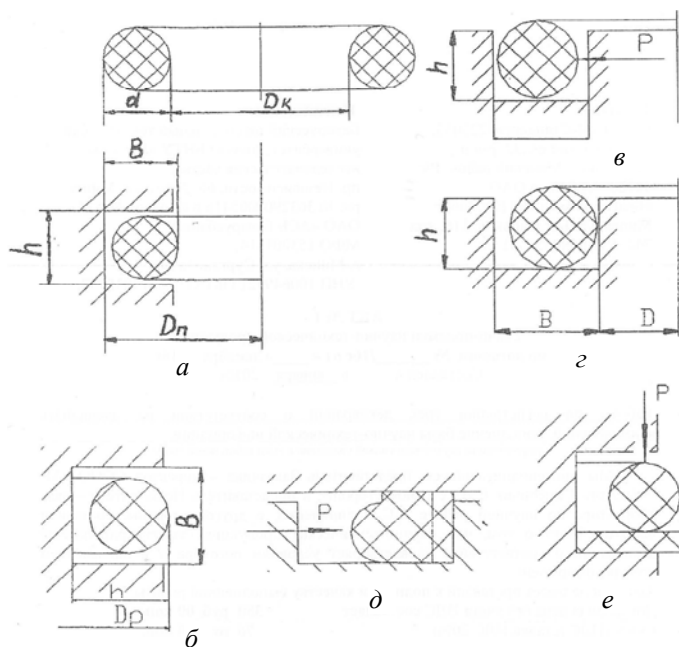


Рис. 8.1. Схемы установок кольца в посадочные места

Схема на рис. 8.1, *а* применяется как радиальное уплотнение для внутренней поверхности, в котором кольцо установлено в канавке с натягом по наружному диаметру. На рис. 8.1, *б* показано радиальное уплотнение, в котором кольцо, установленное с натягом по внутреннему диаметру канавки, уплотняет сопряженный цилиндр наружным диаметром. На рис. 8.1, *в, г* показаны торцовые уплотнения плоского разреза при действии давления p среды соответственно

изнутри и снаружи. Для схем на рис. 8.1, *а* и *в* кольцо устанавливают в канавку проточки с обжатием по наружному диаметру до 3 %. Для схемы на рис. 8.1, *г* кольцо устанавливают в канавку растянутым по внутреннему диаметру на 1–5 %.

С целью предотвращения выдавливания колец при повышенных давлениях (более 20 МПа) рекомендуется устанавливать защитные шайбы из фторопласта для торцовых (рис. 8.1, *д*) и радиальных (рис. 8.1, *е*) уплотнений.

При конструировании уплотнений должны быть предусмотрены элементы, обеспечивающие правильный монтаж и демонтаж уплотнений. Такими элементами являются заходные фаски, проточки, оправки. Для снижения трения при монтаже кольца смазывают смазками типа ЦИАТИМ-221, ЦИАТИМ-201.

Для герметизации неподвижных фланцевых уплотнений применяют плоские листовые, кольцевые и линзовые прокладки.

Плоские (листовые) прокладки применяют для герметизации разъемов корпусов машин в условиях низкого рабочего давления.

Плоские кольцевые прокладки, по конструкции уплотнения подразделяющиеся на открытые (рис. 8.2, *а*), закрытые замком (рис. 8.2, *б*) и закрытые в канавку «шип-паз» (рис. 8.2, *в*), применяются для герметизации фланцевых соединений трубопроводов большого диаметра. Линзовые прокладки (рис. 8.2, *г*) применяются для уплотнения линейного контакта «конус-сфера».

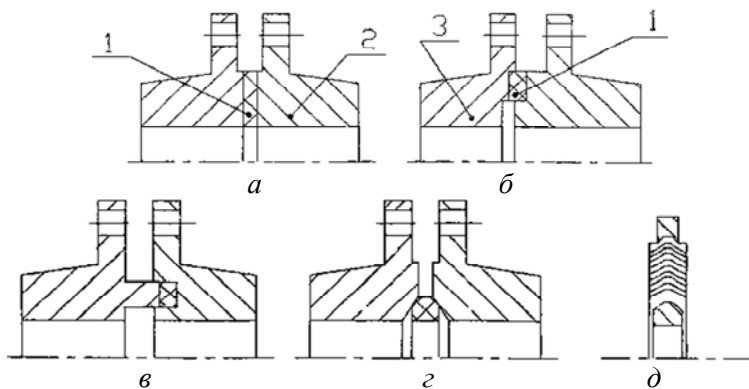


Рис. 8.2. Схемы герметизации фланцевых неподвижных уплотнений:
1 – прокладка; 2, 3 – фланцы уплотнений

Материал прокладки необходимо выбирать из условий совместности с рабочей и окружающей средами.

В условиях высоких динамических нагрузок, температур и тепловых ударов применяются спирально навитые прокладки. Они представляют собой спирально навитую в кольцо комбинированную ленту, состоящую из фасонного металлического каркаса (ленты толщиной около 0,2 мм) и неметаллического наполнителя (ленты из паронита или асбестовой бумаги). Крайние витки металлической ленты сваривают между собой (рис. 8.2, *д*).

Уплотнение резьбовых соединений трубопроводов высокого давления осуществляют механически с контактной парой «металл–металл».

Их основное преимущество – независимость контактного давления от температуры в диапазоне $-40...+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ и отсутствие термохимического старения материала уплотнителя.

В штуцерно-торцевых уплотнениях (рис. 8.3, *а*) уплотнителем может служить плоская прокладка из металла, фибры, картона, паронита. Может применяться уплотнение O-образным эластичным кольцом при очень точном исполнении посадочных мест (рис. 8.3, *б*).

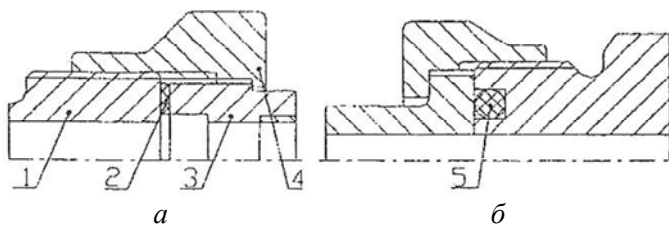


Рис. 8.3. Схемы герметизации соединений трубопроводов:
1 и 4 – детали трубопроводов; 2 – прокладка; 3 – накидная гайка;
5 – эластичное кольцо

Наиболее распространены конструкции уплотнений резьбовых соединений трубопроводов с линейным контактом по уплотнительным поверхностям: с шаровым ниппелем на сварке (рис. 8.4, *а*) и пайке (рис. 8.4, *б*), с шаровым ниппелем и коническим колпачком-прокладкой (рис. 8.4, *в*), с врезным кольцом *б* (рис. 8.4, *г*).

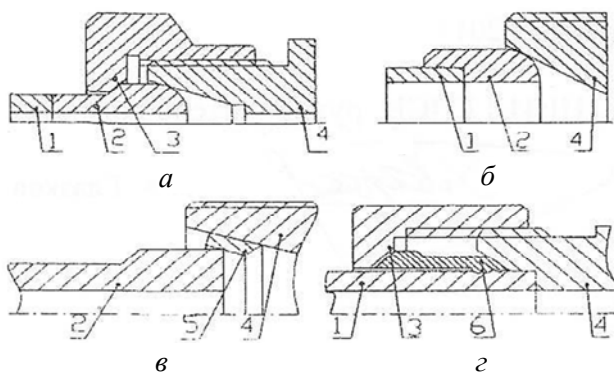


Рис. 8.4. Схемы уплотнений с линейным контактом для резьбовых соединений трубопроводов:
 1 – трубопровод; 2 – ниппель; 3 – накидная гайка; 4 – деталь арматуры;
 5 – коническая гайка; 6 – врезное кольцо

Уплотнение подвижных соединений

Уплотнение подвижных соединений возвратно-поступательного движения УПС бывают следующих типов (рис. 8.5):

- щелевые и лабиринтные в качестве первой ступени УПС или в соединениях, допускающих большую утечку (рис. 8.5, *а, б, в*);
- металлические, углеграфитовые или пластмассовые поршневые кольца во внутренних соединениях, допускающих перетечку сред (рис. 8.5, *г*);
- набивочные для специальных сред (рис. 8.5, *д*) при небольших давлениях (менее 5 МПа);
- эластомерные и комбинированные с кольцами или манжетами в соединениях с высокой герметичностью (рис. 8.5, *е, ж, з*);
- диафрагмовые разделители при требовании полной герметичности (рис. 8.5, *и*);
- грязесъемники со стороны внешней среды (рис. 8.5, *к*).

Области применения УПС весьма разнообразны. В основном они используются в гидро- и пневмоцилиндрах, в поршневых машинах (насосы, гидро- и пневмодвигатели, компрессоры, двигатели внутреннего сгорания и т. д.).

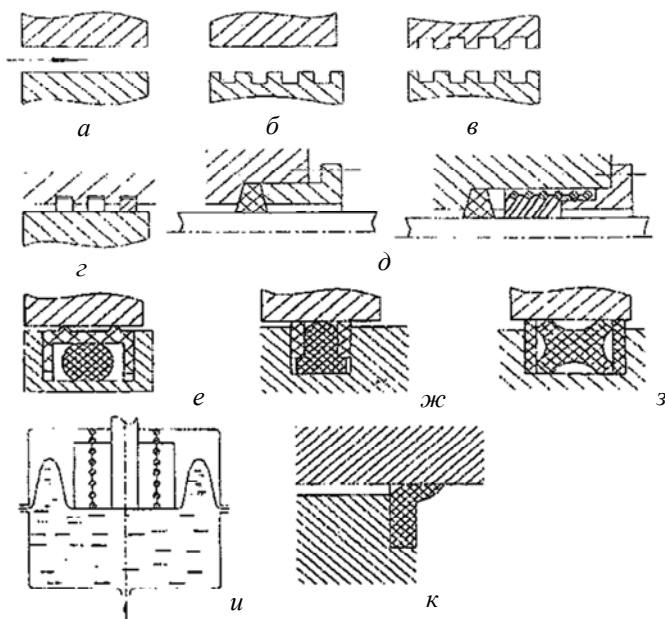


Рис. 8.5. Схемы уплотнений соединений пар
возвратно-поступательного движения

На базе элементов УПС создают уплотнительные комплексы для герметизации сред со специфическими параметрами – химической агрессивностью, высокой токсичностью и температурой, с возможностью образования взрывоопасных смесей с окружающей средой.

Размеры и конструкции многих элементов УПС регламентированы стандартами. Эти рекомендации, выработанные практикой, необходимо учитывать при проектировании гидро- и пневмосистем. Наиболее распространенные уплотнители изготавливают в соответствии с ТНПА:

манжеты резиновые для гидравлических устройств – ГОСТ 14896–84;

то же для пневматических устройств – ГОСТ 6678–72;

манжеты шевронные резинотканевые для гидравлических систем – ГОСТ 22704–77;

грязесъемники резиновые для штоков – ГОСТ 24811–81.

Уплотнение соединений пар вращательного движения (УВ) подразделяют на УВ валов, УВ распределителей гидромашин и УВ поворотных соединений.

Условия эксплуатации УВ валов характеризуются низким давлением (менее 1 МПа), высокой скоростью скольжения (15–20 м/с), температурным диапазоном от -50 до $+150$ °С, высокими требованиями к герметичности. Кроме того, УВ валов должны быть компактны, дешевы и иметь большой ресурс. Таковыми являются эластомерные радиальные манжеты с пружинами (рис. 8.6, а). Распространены также пластмассовые (фторопластовые) кольцевые УВ с пружиной (рис. 8.6, б), торцевые эластомерные УВ (рис. 8.6, в), беспружинные эластомерные радиальные уплотнения (рис. 8.6, г).

Для защиты внутренних полостей объектов от пыли и грязи применяют эластомерные беспружинные манжеты (рис. 8.6, д). Большинство манжет армируют каркасом. Неармированные манжеты применяют, когда в агрегате возможен только торцевой способ установки манжеты или по условиям монтажа ее необходимо деформировать.

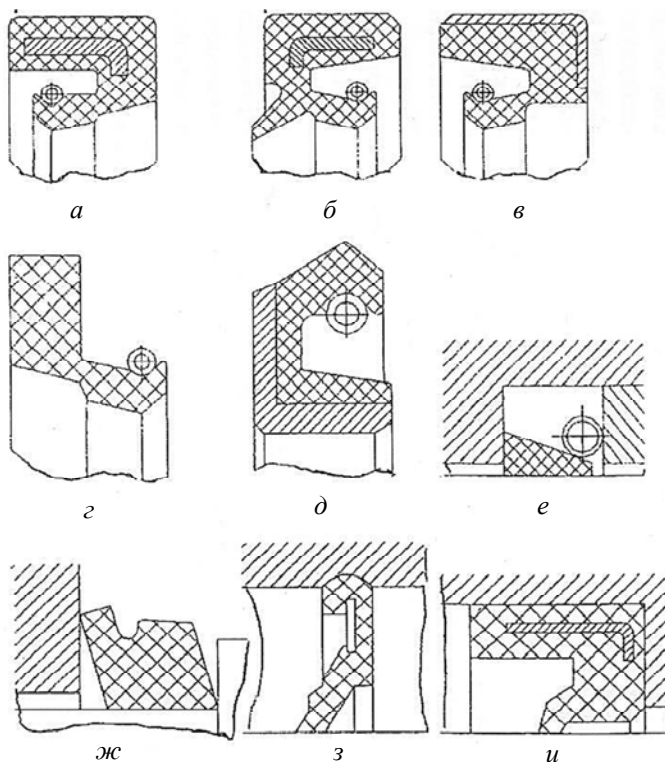


Рис. 8.6. Эластомерные радиальные уплотнения

УВ распределительных устройств гидромашин обеспечивают коммутацию рабочей жидкости (РЖ) из рабочих камер насосов или гидромоторов в магистрали высокого и низкого давления. Их подразделяют на торцевые (аксиальные) и радиальные. УВ радиальных распределительных устройств являются разновидностью бесконтактных щелевых уплотнений. УВ аксиальных распределителей – разновидностью торцевых уплотнений с саморегулируемым зазором. Они конструктивно объединены с блоком цилиндров гидромашин.

Условия работы УВ распределителей отличаются высоким давлением (до 65 МПа), значительной скоростью скольжения (до 18 м/с) и большим температурным диапазоном (от -50 до $+150$ °С). Условия герметичности умеренны, так как происходит перетечка во внутренних полостях машин, и они используются для смазывания и охлаждения пар трения.

На рис. 8.7 представлена схема конструкции торцевого распределителя. Перетечки происходят по торцевому зазору между опорным диском 1 и блоком цилиндров 2. При этом давление пленки жидкости в зазоре на торец блока должно уравновешивать аксиальную нагрузку на блок и зазор должен быть ограничен от долей микрометра до 2 мкм.

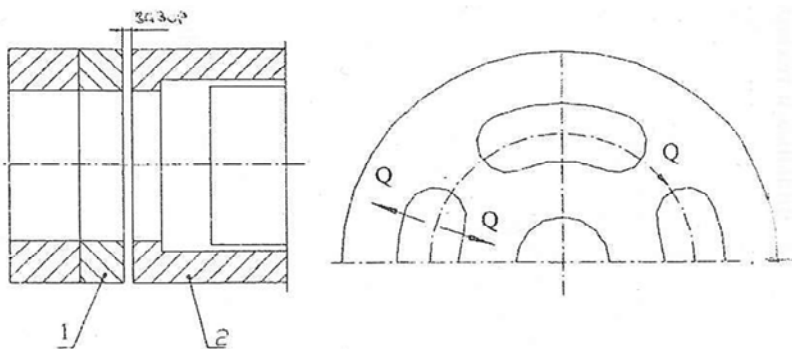


Рис. 8.7. Торцевые уплотнения насоса

УВ поворотных соединений применяют для герметизации подвижных соединений трубопроводных магистралей, допускающих возвратно-поступательное движение элементов трубопроводов (рис. 8.8). Для уплотнения применяют эластомерные, пластмассовые, комбинированные кольца (радиальные УВ) или торцевые уплотнения.

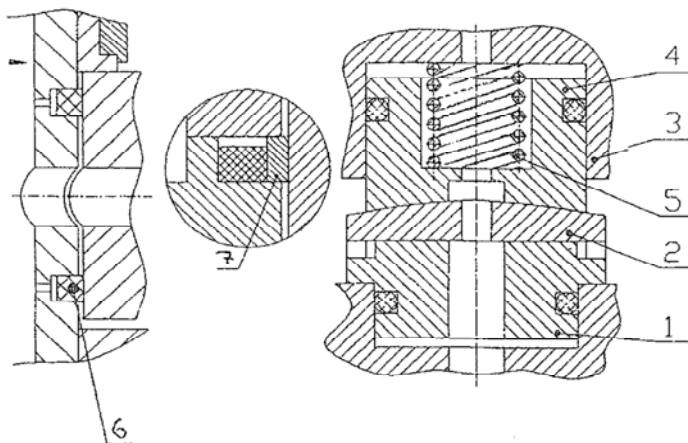
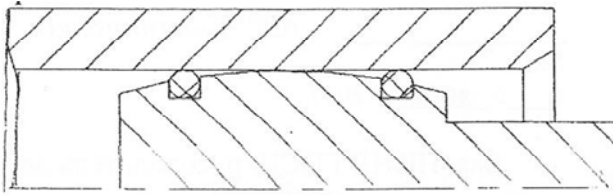


Рис. 8.8. Уплотнение поворотного соединения

Радиальное уплотнение (см. рис. 8.8) осуществляется кольцом 6 из фторопласта, поджимаемым к детали давлением жидкости в трубопроводе. Недостатком такого уплотнения является потеря герметичности при падении давления до нуля и в момент запуска после продолжительной остановки. С целью ликвидации этого недостатка уплотнительный элемент 7, изготовленный из фторопласта, целесообразно дополнительно поджимать эластомерным кольцом или, как показано на рис. 8.6, поджимать фторопластовое кольцо брашлетной пружиной.

УВ торцевого соединения может осуществляться с помощью кольца 2 (см. рис. 8.8), установленного между подвижной 1 и неподвижной 3 частями соединения и поджимаемого давлением и пружиной 5 через поджимную втулку 4. Сопрягаемые поверхности деталей 1, 2 и 4 должны быть тщательно обработаны. Такое уплотнение применяется при высоких давлениях рабочей жидкости и малых скоростях скольжения.

Для герметизации ограниченно подвижных соединений в нескольких направлениях применяют уплотнение, показанное на рис. 8.9. Уплотнение осуществляется эластомерными кольцами, установленными между сферой и цилиндром.



8.9. Уплотнение ограниченно подвижного соединения

Технические условия и требования к сопряженным деталям приведены в справочной литературе и в ТНПА. ГОСТ 8752 регламентирует резиновые армированные манжеты. Манжеты мобильной техники, встраиваемые в закрытые подшипники качения уплотнения, манжеты грязесъемные и пылегазозащитные выпускают по ТУ.

Пример применения уплотнений в гидроцилиндре с указанием допусков приведен на рис. 8.10.

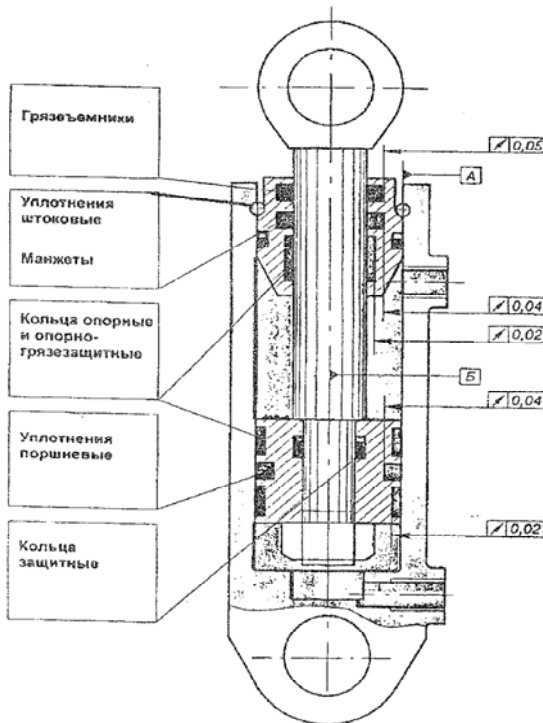


Рис. 8.10. Уплотнения и опоры гидроцилиндров

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с техникой безопасности.
2. По схемам и узлам изучить различные типы уплотнений.

Содержание отчета

1. Эскизы уплотнений с использованием реальных узлов (один-два эскиза по указанию руководителя).
2. Описать назначение, преимущества, недостатки, область применения уплотнений, представленных на эскизах.

Контрольные вопросы

1. Преимущества и недостатки различных типов уплотнений.
2. Какие типы уплотнений применяются при давлениях более 30 МПа?
3. Какие типы уплотнений, применяются при давлениях до 5 МПа?
4. Каковы основные правила конструирования мест установки под эластичные кольца?
5. Назначение защитных шайб, применяемых совместно с эластомерными кольцами.
6. Назначение и область применения прокладок.
7. Область применения лабиринтных уплотнений.
8. Где и зачем применяется ниппель в уплотнениях?

Литература

Уплотнения и уплотнительная техника : справочник / под общ. ред. А. И. Голубева и Л. А. Кондакова. – М. : Машиностроение, 1986. – 464 с.

Содержание

Введение	3
Лабораторная работа № 1 РАСЧЕТ ИНДЕКСА ВЯЗКОСТИ	4
Лабораторная работа № 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ.....	13
Лабораторная работа № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСМИССИОННЫХ МАСЕЛ НА ЧЕТЫРЕХШАРИКОВОЙ МАШИНЕ ТРЕНИЯ	21
Лабораторная работа № 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕНЕТРАЦИИ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК.....	30
Лабораторная работа № 5 КВАЛИФИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ПРОТИВОИЗНОСНЫХ СВОЙСТВ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ ГИДРОСИСТЕМ.....	36
Лабораторная работа № 6 ИСПЫТАНИЯ ФИЛЬТРОВ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ.....	42
Лабораторная работа № 7 ОЦЕНКА ЧИСТОТЫ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ	48
Лабораторная работа № 8 УПЛОТНИТЕЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ УСТРОЙСТВ И ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОСИСТЕМ	57

Учебное издание

ВЕРЕНИЧ Иван Андреевич
ЖИЛЯНИН Дмитрий Леонидович

**РАБОЧИЕ ЖИДКОСТИ, СМАЗКИ И УПЛОТНЕНИЯ
ГИДРОПНЕВМОСИСТЕМ**

Учебно-методическое пособие
по лабораторным работам
для студентов специальности 1-36 01 07
«Гидропневмосистемы мобильных
и технологических машин»

Редактор *Т. Н. Микулик*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 01.03.2017. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 3,95. Уч.-изд. л. 3,09. Тираж 100. Заказ 592.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.