

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ФАКУЛЬТЕТ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕХАНИКИ И МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**КАФЕДРА «МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЗАВОДОВ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ»  
ИМ. ПРОФ. СЕДУША В.Я.**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к проведению практических занятий по дисциплине вариативной части  
по выбору студента профессионального цикла**

# **СИСТЕМЫ СМАЗЫВАНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**для студентов всех форм обучения  
направления подготовки 15.03.02  
«Технологические машины и оборудование»**

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ФАКУЛЬТЕТ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕХАНИКИ И МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**КАФЕДРА «МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЗАВОДОВ ЧЕРНОЙ  
МЕТАЛЛУРГИИ» ИМ. ПРОФ. СЕДУША В.Я.**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к проведению практических занятий по дисциплине вариативной части  
по выбору студента профессионального цикла**

# **СИСТЕМЫ СМАЗЫВАНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**для студентов всех форм обучения  
направления подготовки 15.03.02  
«Технологические машины и оборудование»**

Рассмотрены на заседании  
кафедры «Механическое оборудование  
заводов черной металлургии»  
им. проф. Седуша В.Я.  
Протокол № 11 от 03.04.2017 г.

Утверждены на заседании  
учебно-издательского совета ДОННТУ  
Протокол № \_\_\_\_ от \_\_.\_\_. 20\_\_ г.

**Донецк  
ДОННТУ  
2017**

УДК 53.083

Методические указания к проведению практических занятий по дисциплине вариативной части по выбору студента профессионального цикла «Системы смазывания металлургического оборудования» для студентов всех форм обучения направления подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» / сост.: В. А. Сидоров. – Донецк: ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», 2017. – 50 с.

Отражены цели и задачи практических занятий по дисциплине «Системы смазывания металлургического оборудования» для студентов всех форм обучения по направлению подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование». Описаны структура занятий, порядок подготовки к ним, последовательность операций и действий, направленных на выполнение поставленных задач, даны рекомендации по использованию теоретического материала.

*Составители:* Сидоров В.А., д.т.н., доцент, профессор кафедры «Механическое оборудование заводов черной металлургии» им. проф. Седуша В.Я.

*Рецензенты:* д.т.н., профессор А.П. Кононенко

к.т.н., доцент Е.В. Ошовская

Ответственный за выпуск:

д. т. н., профессор А. Л. Сотников

# СМАЗКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН

## 1. Виды трения

Для уменьшения потерь мощности на трение и снижения интенсивности изнашивания трущихся поверхностей, а также для предохранения их от заедания, задиров, коррозии и для лучшего отвода тепла трущиеся поверхности деталей должны иметь надежное смазывание. **Смазывание** - подведение смазочного материала к поверхностям трения. **Смазочный материал** – материал, вводимый на поверхности трения для уменьшения силы трения и (или) интенсивности изнашивания. Наиболее широко в технике используются жидкие и пластичные смазочные материалы. Менее распространены твердые и газообразные смазочные материалы.

**Пластичные смазочные материалы** применяют для смазывания подшипников качения при частоте вращения до  $3000 \text{ мин}^{-1}$  и температуре до  $100^\circ\text{C}$ . Большая часть подшипников качения (до 90%) смазывается этими материалами. Преимущества: простая и дешевая конструкция подшипниковых узлов; лучшие уплотнения против проникновения влаги и загрязнения из внешней среды.

**Жидкие масла** применяются при высоких частотах вращения, превышающих допустимые для смазывания пластичной смазкой, а также при необходимости отвода тепла от узлов механизма. Используется также при необходимости смазывания ряда узлов: подшипников, уплотнений, зубчатых колес.

**Твердые смазочные материалы** применяют в виде порошков или покрытий. Это либо графит, либо дисульфид молибдена ( $\text{MoS}_2$ ), имеющих чешуйчатое строение и малые усилия при смещении слоев относительно друг друга. Применяются при отрицательных температурах и при  $t > 100^\circ\text{C}$ .

**Смазка** – действие смазочного материала, в результате которого между двумя поверхностями уменьшается сила трения и (или) интенсивность изнашивания. **Изнашивание** - процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела и (или) накопления его остаточной

деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела (детали). **Износ** - результат изнашивания, определяемый в единицах длины, объема, массы.

Основное назначение смазки состоит в образовании слоя из смазочного материала, разделяющего поверхности трения и благодаря этому уменьшению сил трения и износа. Основопологающим свойством смазочных материалов является вязкость, характеризующая способность образовывать смазочный слой. Применительно к пластичным смазкам - это консистенция (пенетрация).

Между поверхностями трения при смазке возникает слой из смазочного материала, который сопряжен с трущимися поверхностями. Вследствие относительного движения деталей в смазочном слое возникают напряжения сдвига - отдельные слои смазочного слоя скользят относительно друг друга, определяя силу трения. Соответственно, вязкость - мера трения между слоями жидкости (рисунок 1).

Различают три режима смазывания: граничный, гидродинамический, контактно-гидродинамический. **Граничное смазывание** имеет место при недостаточной толщине смазочного слоя для разделения трущихся поверхностей (рисунок 2). Данный режим возникает при: недостатке смазочного материала, недостаточной скорости перемещения сопряженных поверхностей, низкой вязкости масла. Следствием является металлический контакт сопряженных поверхностей, схватывание выступающих пиков шероховатости, в результате чего имеет место значительное трение, большой износ и разрушение сопряженных поверхностей. **Гидродинамическое смазывание** возникает при полном разделении сопряженных поверхностей смазочным слоем (рисунок 3). Трение, в этом случае, значительно ниже, отсутствует металлический контакт поверхностей трения. **Контактно-гидродинамический** режим возникает при упругом деформировании поверхностей в местах контакта, однако масло из зоны контакта не выдавливается. В зоне контакта вязкость масла резко возрастает, а после снятия нагрузки снова снижается до исходного значения.

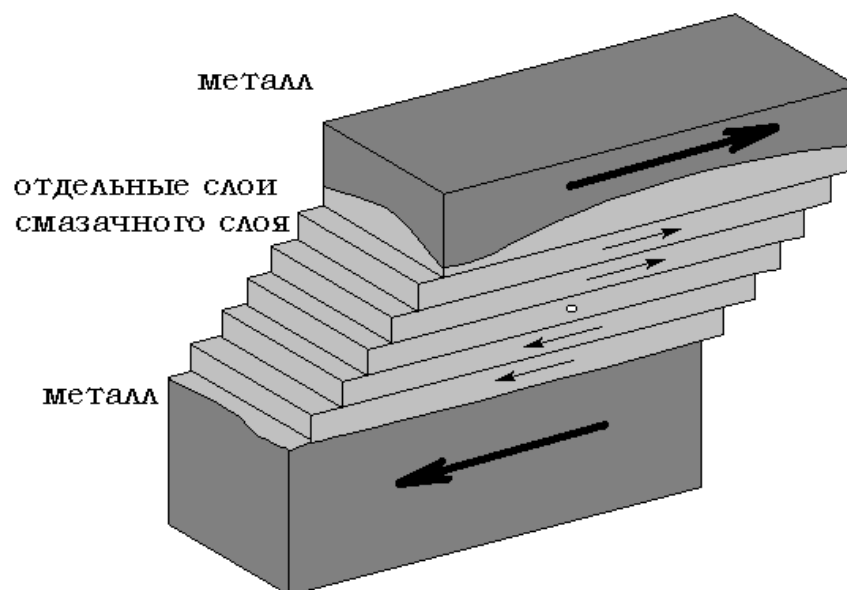


Рисунок 1 - Схема трение между отдельными слоями смазочного материала

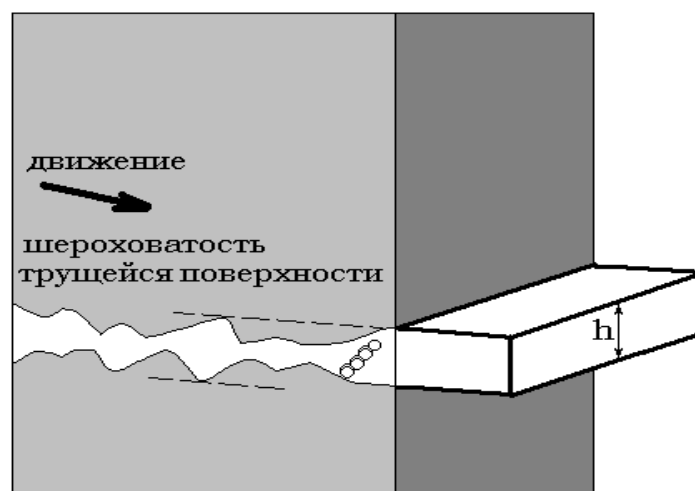


Рисунок 2 - Схема граничного режима смазывания

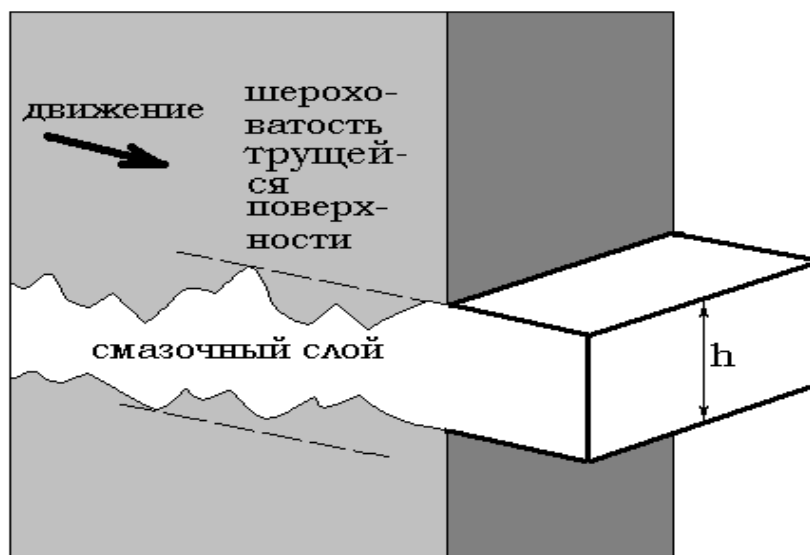


Рисунок 3 - Схема гидродинамического режима смазывания

При работе механизма масло постепенно загрязняется продуктами износа трущихся деталей. С течением времени масло стареет, свойства его ухудшаются. Главная причина старения масла - окисление. Скорость окисления в большой степени зависит от температуры, с увеличением температуры на  $10^{\circ}\text{C}$  скорость окисления увеличивается вдвое, соответственно вдвое сокращается срок службы масла. Приблизительно можно считать, что срок службы минерального масла составляет 30 лет при  $30^{\circ}\text{C}$ , 15 лет при  $40^{\circ}\text{C}$ , и так далее. Если проводить качественный и количественный контроль продуктов износа и состояния смазочного материала, можно не только установить источник поступления продуктов износа, но и продлить срок службы механизма благодаря своевременной замене отработанного масла.

#### **Присадки.**

**Вязкостные** - изменяют вязкость при повышении температуры.

**Моющие** – удаляют загрязнения на стенках трубопровода.

**Дисперсионные** - понижают температуру застывания.

**Противоизносные смеси. Антиокислительные. Антипенные.**

**Антизадирные** - содержат серу, хлор, фосфор, образуют нестойкие соединения, защищающие поверхность металла от схватывания.

Синтетические масла обладают несколько большей текучестью, поэтому легче просачиваются через неплотности в соединениях. Течь сальника свидетельствует не об "агрессивности" масла, а о том, что рабочая кромка манжета уже основательно изношена. Срок действия синтетических масел меньше, чем у минеральных масел. Быстрое потемнение масла свидетельствует о хороших моющих свойствах.

Промывочное масло или специальная моющая добавка при замене масла используется при переходе с минерального сорта на "синтетику". В остальных случаях высокие моющие свойства масла практически исключают образование каких-либо отложений.

При выборе масла по качественному уровню главным критерием служит указание заводской инструкции. Использование масел более высокого класса не будет замечено удлинять сроки замены масла и значительно снижать износ деталей. Применяемое масло должно быть точно выбранным по вязкости и оптимальным по качественному уровню.

Таблица – Коэффициенты трения скольжения

Трущиеся поверхности	Коэффициент трения
Бронза по бронзе	0,2
Дерево по дереву	0,25...0,5
Сталь по стали	0,16
Подшипник скольжения при смазке	0,02...0,08
Подшипник жидкостного трения	0,001...0,003
Сталь по феродо	0,25...0,45
Фторопласт по стали	0,065...0,080
Резина (шины) по твердому грунту	0,4...0,6
Резина (шины) по чугуну	0,83
Медь по чугуну	0,27



## 2. Пластичные смазочные материалы (характеристики)

Пластические смазки состоят из двух компонентов: жидкой основы (минеральные, растительные, синтетические и другие масла) и загустителя (твердые углеводороды, различные соли высокомолекулярных жирных кислот — мыла, высокодисперсные силикагели и бентониты, другие продукты органического и неорганического происхождения). В своем составе содержат присадки, улучшающие эксплуатационные характеристики. В состав смазок вводят различные наполнители: графит, дисульфид молибдена, порошкообразные металлы или их окислы, слюду и др. Мыла - это соли высших жирных кислот, включающие ионы щелочных металлов (кальция, натрия).

**Работа пластичной смазки.** Загуститель - металлическое мыло, образует емкость для масла. Мыло образует решетчатый волоконный каркас, заполненный маслом. Выдавливание масла из этой губки происходит под воздействием механических сил и температур. Благодаря наличию структурного каркаса пластичные смазки ведут себя при небольших нагрузках как твердые тела (под действием собственного веса не растекаются, удерживаются на наклонных и вертикальных плоскостях), а под воздействием нагрузок, превышающих прочность структурного каркаса, текут подобно маслам. Однако при снятии нагрузки течение смазки прекращается и она вновь приобретает свойства твердого тела.

Преимущества пластичных смазок: способность удерживаться в негерметичных узлах трения, работоспособность в широком температурном и скоростном диапазонах, лучшая смазывающая способность, более высокие защитные свойства от коррозии, работоспособность в контакте с водой и другими агрессивными средами, большая экономичность.

Недостатки смазок: плохая охлаждающая способность, более высокая склонность к окислению, сложность подачи к узлу трения.

В зависимости от загустителя различают: кальциевые, натриевые, литиевые, синтетические. В зависимости от температуры каплепадения различают: низкотемпературные, среднетемпературные, высокотемпературные. По назначению пластичные смазочные материалы бывают: антифрикционные, защитные, уплотнительные.

Пластичные смазки характеризуются: температурой каплепадения, консинстенцией (пенетрацией), содержанием воды, содержанием свободных кислот или щелочей, количеством золы, количеством механических примесей.

**Температура каплепадения** – это температура, при которой от смазки, нагретой в стандартных условиях, выделяется первая капля масла. Эта температура должна быть больше на  $10...20^{\circ}\text{C}$  температуры узла трения. Диапазон работы традиционных пластичных смазочных материалов - от  $-30$  до  $+140^{\circ}\text{C}$ . Температура каплепадения: литиевых смазок –  $170...200^{\circ}\text{C}$ , комплексных кальциевых и бариевых –  $230...260^{\circ}\text{C}$ . Верхний температурный предел работоспособности литиевых смазок лежит в пределах  $110...130^{\circ}\text{C}$ , а комплексных кальциевых —  $150...160^{\circ}\text{C}$ .

**Консинстенция** характеризует степень жесткости пластичных смазок. Ее измеряют стандартными пенетрометрами, погружая в смазочный материал тарированный конический конус. Глубина погружения (в сотых долях сантиметра) за 5 секунд при  $t = 25^{\circ}\text{C}$  называется числом пенетрации. Чем больше это число, тем меньше консистентность смазки. Высокое число пенетрации - смазка мягкая, низкое число смазка жесткая. С повышением температуры плотность пластичных смазок уменьшается. Чтобы установить характер такого изменения, число пенетрации определяют при  $25^{\circ}\text{C}$ ,  $50^{\circ}\text{C}$ ,  $75^{\circ}\text{C}$ . Для работы в узлах трения со значительными тепловыми колебаниями выбирают материал с более пологой кривой пенетрации. Этот показатель можно использовать при оценке единообразия различных партий смазки.

**Вязкость** характеризует течение смазки после нарушения связей в ее структурном каркасе в результате приложения критической нагрузки. Вязкость смазок зависит от температуры и от условий течения, т. е. скорости деформации. С повышением температуры и увеличением скорости деформации вязкость смазок уменьшается. Особенно чувствительна вязкость смазок к изменению скорости деформации. При постоянной температуре и с увеличением скорости деформации в  $10...100$  раз вязкость смазки понижается в сотни и тысячи раз.

Вязкость смазки определяет условия заправки в узлы трения при низких температурах, влияет на пусковые и установившиеся моменты сдвига подшипников, характеризует прокачиваемость по мазепроводам.

**Наличие воды в смазке** приводит к коррозии деталей узлов трения. Максимальное наличие воды: в кальцевых смазках - не выше 4%, в натриевых - 0,5%, в защитных наличие воды не допускается.

**Испаряемость** определяется в процентах улетучившегося масла при заданной температуре в строго регламентированное время. Потеря масла из-за испаряемости приводит к относительному повышению содержания загустителя в смазке и увеличению предела прочности, вязкости, а также изменению других эксплуатационных свойств смазок.

**Водостойкость** - способность смазок не растворяться в воде, не поглощать ее из окружающей среды, не смываться и не изменять значительно своих свойств при контакте с ней. Стандартного метода определения водостойкости нет. При необходимости в каждом отдельном случае в нормативно-техническую документацию записывают определенную методику (кипячение в горячей воде, смываемость с вращающегося подшипника или пластины).

**Несущая способность смазывающей пленки** учитывает критическую температуру разрушения смазывающей пленки, критическое давление, пластифицирующее действие и адгезионные силы, антифрикционные и противоизносные свойства, противозадирные и другие характеристики.

Смазки в своем составе содержат поверхностно-активные вещества, поэтому, их смазочная способность значительно выше, чем масла наполнителя.

Несущую способность смазывающей пленки смазок в граничном слое оценивают по результатам испытаний на трение и износ, к числу которых относится также метод оценки противоизносных и противозадирных свойств на четырехшариковой машине трения.

**Антикоррозионные свойства** характеризуют коррозионное действие смазки на металлы. Определяют методом погружения металлических пластин в смазку, выдержку в ней при заданной температуре с последующим визуальным определением наличия на пластине следов коррозионного воздействия. Появление коррозионных пятен на пластинах, значительное их потем-

нение, изменение цвета и внешнего вида смазки в зоне контакта с пластинами указывает на недостаточную антикоррозионную стабильность смазки.

**Механические примеси** при эксплуатации пластичных смазочных материалов не допускаются.

**Наличие кислот и щелочей.** Наличие кислот не допускается. Оптимальным является нейтральный состав. Щелочь (до 0,2%) в смазке допускается, для связывания кислот образующихся при эксплуатации.

#### **Типы пластичных смазок.**

**Кальцевые** (солидолы) - влагостойкие, могут содержать до 4% влаги, имеют хорошую механическую стабильность, имеют низкий коэффициент внутреннего трения, смешиваясь с водой не образуют эмульсии. Используются в условиях высокой влажности при температуре  $-30...+55^{\circ}\text{C}$ . Расплавляясь, теряют содержащую в них воду, после охлаждения не восстанавливают своих физико-химические свойства.

**Натриевые** - чувствительны к влаге, соединяясь с водой образуют эмульсию и выделяют коррозирующие щелочи и кислоты. Применяются при отсутствии контакта с водой, при температуре  $-30...+150^{\circ}\text{C}$ . Обладают хорошей маслянистостью, хорошими уплотняющими свойствами и восстанавливают свои характеристики после расплавления.

**Кальцево-натриевые** - по влагостойкости и температурному диапазону занимают промежуточное место. Они эффективны для применения в условиях небольшой влажности при температуре  $0...+110^{\circ}\text{C}$ .

**Литиевые.** В основе лежит литиевое мыло, имеющее положительные свойства кальциевых и натриевых смазок, но без их недостатков. Имеют хорошую маслянистость, отличную температурную устойчивость. Применяется при температуре  $-50...+150^{\circ}\text{C}$  при возможности проникновения воды.

**Смазки с синтетическими маслами.** В качестве масла используют полиальфаолефины эфирных и силиконовых масел, которые отличаются большей устойчивостью против старения, чем у минеральных масел. Загустители - литиевое мыло, бентонит. Имеют очень малые потери на трение и работают при температуре  $-70...+150^{\circ}\text{C}$ .

**Присадки к пластическим смазкам. Антикоррозийные** - Используют при работе во влажной среде при консервации и при хранении. **Антиокислительные** - замедляют окисление при высокой температуре. **Антизадирные** - соединения фосфора, хлора и серы повышают несущую способность смазочного слоя, иногда отрицательно влияют на подшипниковую сталь.



Рисунок 1 - Пенетромтр для нефтепродуктов (пластичных смазок) ПН-1МС



Рисунок 2 - Прибор автоматический для определения температуры вспышки в закрытом тигле АТВ-1М



Рисунок 3 - Аппарат для определения температуры каплепадения нефтепродуктов КАПЛЯ-20

Маркировка пластичных смазок обозначается буквами в следующем порядке: на первом месте область применения (У - универсальная; И – промышленная; П – прокатная; А - автотракторная; Ж - железнодорожная); на втором месте - для универсальных смазок наименование группы (Н – низкотемпературная, С – среднеплавкая; Т – тугоплавкая); на третьем и четвертом местах - обозначение марки и специфических свойств (М – морозостойкая; В – влагостойкая; З – защитная; К – канатная). Примеры маркировки: смазка УНЗ (универсальная, низкоплавкая, защитная); смазка УСс-1 (универсальная, среднеплавкая, синтетическая).

**Таблица 1 - Ассортимент пластических смазок**

Наименование	Замена	Область применения
Смазка индустриальная ИП 1	ИП 1-Л ИП 1-3	Для централизованной смазки подшипников скольжения и качения, направляющих и др. узлов трения, для закладной смазки зубчатых муфт.
Солидол синтетический УСс-1	Усс-2	Для смазки под давлением подшипников скольжения и качения в холодное время года в условиях повышенной влажности для смазки пресс-масленками.
Консталин Утс-1	Утс-2	Для смазки подшипников качения и скольжения, для цепных передач в условиях полностью исключаящих контакт смазки с водой, для механизмов доменного оборудования: втулок барабанов лебедки управления конусами, подшипников и шарниров направляющих устройств, подшипников качения скиповой лебедки, для кузнечно-прессового оборудования.
Индустриально-металлургическая №10		Для смазки бронзовых подшипников скольжения, рабочих валков прокатных клетей и для других узлов трения работающих при повышенных нагрузках и средних скоростях.
Графитная УСс-А		Для смазки тяжелонагруженных открытых зубчатых передач, централизованной смазки высоконагруженных мест трения. Для цепей лебедки управления конусами.
ЦИАТИМ 201,202 Литиевая 203,208		Для смазки подшипников скольжения и качения (со скоростью вращения до 3000об/мин. - 201; со скоростью вращения до 30000об/мин. - 202). Для смазки узлов трения в условиях высоких удельных давлений (до 500МПа-203; до 2400 МПа-208).
Канатная		Для смазки стальных канатов.

**RENOLIT LZR 000** - високоякісне пластичне мастило на основі літієвого мила, відбіркої базової оливи і пакету спеціальних присадок. Відзначається надзвичайною водостійкістю, температурною стабільністю і антикорозійними властивостями. Низька здатність до старіння забезпечує довгий термін служби мастила. RENOLIT LZR 000 вміщує в собі спеціальні EP-присадки, які забезпечують мінімальну зношуваність деталей тертя. Відзначається доброю адгезією на металевих поверхнях і чудово прокачується по централізованих системах змащування навіть при низьких температурах.

RENOLIT LZR 000 відповідає специфікації MB 6833.00, специфікації Willy Vogel AG від 01.01.89 р., специфікації MAN 283 Li-P000.

**Технічні дані:**

Параметри	Одиниці	Дані	Випробувано
Колір		зелений	
Маркування		KP000 K-40	DIN 51 502
Загущувач		літієве мило	
Робочі температури нижня верхня	$^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{C}$	-40 +120	DIN 51 806
Температура краплепадіння	$^{\circ}\text{C}$	160	DIN ISO 2176
Клас NLGI		000	DIN 51 818
Пенетрація	0,1 мм	445 - 475	DIN ISO 2137
Тиск прокачування при $-35^{\circ}\text{C}$	hPa	<60	DIN 51 805
Антиокислювальна стабільність Падіння тиску	hPa	<300	DIN 51 808
В'язкість базової оливи при $40^{\circ}\text{C}$ при $100^{\circ}\text{C}$	$\text{мм}^2/\text{с}$ $\text{мм}^2/\text{с}$	45 6	DIN 51 562-1 DIN 51 562-1

**Застосування:**

Через відносно високу в'язкість базової оливи пластичне мастило RENOLIT LZR 000 особливо добре надається для змащування малообертових поверхонь тертя.



### **3. Пластичные смазочные материалы (особенности, способы подачи и контроля)**

**Системы смазывания.** 1. Закладная смазка в корпус подшипника. 2. Периодическое смазывание при помощи шприца. 3. Смазывание при помощи ручных станций. 4. Централизованные системы смазывания.

**Условия заполнения подшипника пластичной смазкой.** 1. Правильное количество смазки. 2. Правильный способ закладки. 3. Правильный сорт и качество смазки. 4. Правильные интервалы повторного смазывания.

**Ограничения при работе смазочных систем.** 1. Как долго смазка сохраняет работоспособность. 2. Как заменять отработанную смазку.

#### **Расчет основных параметров систем густой смазки**

Оптимальные условия подачи смазочного вещества, его количество и периодичность подачи определяют при эксплуатации путем подбора. Для ориентировочного расчета потребности в смазке на заводах металлургических заводах используют формулу:

$$q = 11 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 \text{ см}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}),$$

где  $q$  — количество смазки ( $\text{см}^3$ ), которое следует подавать ежечасно на  $1 \text{ м}^2$  трущейся поверхности узла трения; 11 — минимальная норма расхода смазки для подшипников диаметром до 100 мм при частоте вращения не превышающей 100 об/мин;  $K_1$  — коэффициент, учитывающий зависимость расхода смазки от диаметра подшипника  $K_1 = 1 + 4(d - 100) \cdot 10^{-3}$  — подшипники скольжения,  $K_1 = 1 + (d - 100) \cdot 10^{-3}$  — подшипники качения;  $K_2$  — коэффициент, учитывающий зависимость расхода смазки от частоты вращения подшипника  $K_2 = 1 + 4(n - 100) \cdot 10^{-3}$ ;  $K_3$  — коэффициент, учитывающий качество трущихся поверхностей на норму расхода смазки (при хорошем качестве, суммарная площадь повреждений не превышает 5%  $K_3 = 1$ , при удовлетворительном  $K_3 = 1,3$ );  $K_4$  — коэффициент, учитывающий рабочую температуру подшипника (при температуре ниже  $75^\circ\text{C}$   $K_4 = 1$ , при рабочей температуре  $75 \dots 150^\circ\text{C}$   $K_4 = 1,2$ );  $K_5$  — коэффициент, учитывающий нагруженность подшипника (при номинальной нагрузке  $K_5 = 1$ , превышение проектного значения  $K_5 = 1,1$ ).

Производительность дозирующего питателя рассчитывают по формуле:  $V_n = q \cdot F \cdot T_{\text{ч}}$ , где  $V_n$  — требуемый объем смазки, который должен подать пи-

татель за один ход плунжера, см<sup>3</sup>, при заданном режиме смазывания (периоде между двумя последовательными подачами) Тч;  $F$  — площадь трущейся поверхности подшипника ( $D \cdot B$ ), м<sup>2</sup>.

Иногда появляется необходимость увеличения или уменьшения расчетной величины производительности дозирующего питателя. В большинстве случаев такое несовпадение зависит от причин, которые в расчете учесть невозможно: неудачная конструкция уплотнений, большое количество воды, попадающей на узел трения и вымывающей смазку, неудачное расположение смазочных канавок, сорт мази, не соответствующий температурным и нагрузочным условиям работы узла. Эти причины вызывают увеличение по сравнению с расчетным типоразмера питателя. Наоборот, меньшая скорость работы машины, более легкий режим, хорошо работающее уплотнение ведут к уменьшению запроектированного типоразмера питателя.

### Определение количества смазки

Необходимые и достаточные дозы пластичной смазки, расходуемые на первоначальное заполнение корпуса подшипника и на периодическое пополнение, регламентируются данными, приведенными в таблице. Объем смазки должен занимать 40...60% свободного пространства корпуса подшипника. В корпусе подшипника должно быть свободное пространство для выдавливания смазочного материала. Если машины работает без повышенных вибраций, этот объем можно увеличить до 80% при условии применения литиевых смазок. Если машина работает с большими вибрациями, то максимальный объем смазки 60% свободного пространства подшипника.

Таблица 1 - Количество смазки на единовременное заполнение корпуса подшипника и для периодического добавления

Диаметр внутрен- ний, мм	Количество смазки, г, необходимое для единовременного заполнения корпуса подшипника качения для												Единовременный расход смазки для периодического добавления				
	Фланцев прижимных						Крышек с уплотняющим войлочным кольцом		Разъемных флан- цев корпуса								
	мелких			Глубоких													
	При использовании подшипников серии																
	200	300	400	200	300	400	200	300	400	200	300	400	200	300	400	500	600
90	175	280	425	263	420	637	315	503	765	685	1090	1660	2,4	4,1	6,1	3,2	6,0
85	199	310	486	299	465	730	358	557	875	775	1210	1895	2,7	4,5	6,1	3,9	6,7
100	224	362	525	336	543	788	403	650	945	875	1410	2050	3,1	5,1	7,3	4,1	7,8
110	279	455	663	418	683	1000	585	955	1395	1170	1910	2790	3,8	6,0	9,1	5,3	9,6
120	318	532	817	476	795	1225	667	1120	1720	1370	2230	3430	4,3	7,2	11,2	6,7	11,2
130	360	615	987	540	922	1480	755	1290	2070	1470	2580	4150	4,6	8,1	13,3	7,4	13,0
140	429	704	1100	645	1055	1650	900	1475	2350	1800	2960	4630	5,3	9,3	14,8	8,5	15,0

Объем пластичной смазки ( $\text{см}^3$ ) для заправки в подшипниковый узел  $V = f \cdot B \cdot D_0 / 1000$ , где  $D_0$  - средний диаметр подшипника, см;  $B$  - ширина радиального подшипника или высота упорного подшипника, см;  $f$  - коэффициент заполнения, зависящий от внутреннего диаметра подшипника  $d$ :

$d$ , мм	<40	40...100	100...130	130...160	160...200	>200
$f$	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0

Для подшипников качения с  $d_{BH} > 140$  мм количество смазки для заполнения корпуса подсчитывают по формуле:  $Q_3 = 0,001B(D^2 - d^2)$ , где  $Q_3$  — количество смазки, необходимое для заполнения корпуса, г;  $B$  — ширина подшипника, мм;  $D$  — наружный диаметр подшипника, мм;  $d$  — внутренний диаметр подшипника, мм. Количество смазки для периодического добавления через время  $h$ , ч -  $Q = 0,005DB$  г.

**Периодичность смазывания.** При нормальных условиях эксплуатации полную перезарядку подшипников осуществляют через 4...6 месяцев работы, при тяжелых условиях эксплуатации — через 2...3 месяца. Повышение температуры на  $15^\circ\text{C}$  требует подачи смазки вдвое чаще.

Временя  $h$  (ч) между очередными добавлениями порций пластичной смазки при нормальных условиях эксплуатации (при отсутствии утечек, нормальной температуре узла, надлежащем качестве смазки) в зависимости от диаметра  $d$  отверстия подшипника и частоты вращения  $n$  может быть ориентировочно определен по графикам (рисунок 1).

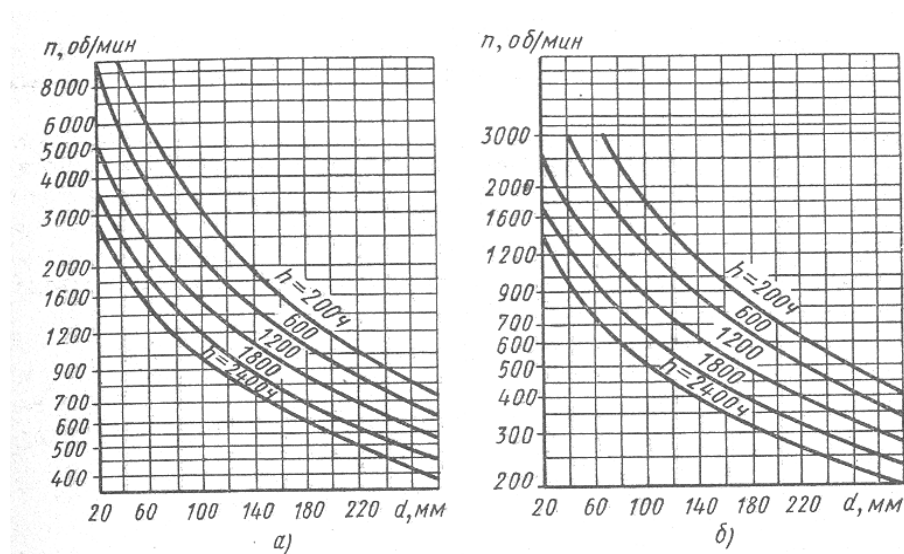


Рисунок 1 - Графики для определения периода между очередным добавлением пластичной смазки для подшипников: а) радиальных (кроме роликовых сферических двухрядных); б) радиальных сферических двухрядных и упорных.

**Стационарные корпуса и точки смазывания.** Если установлен двухрядный подшипник и есть отверстие для смазки, то смазка подводится по центру. Необходимо отверстие для выхода смазки.

**Централизованные системы пластичной смазки.** По принципу работы централизованные автоматические системы смазки делят на два типа: петлевые системы и конечные системы.

Петлевые системы целесообразно применять в тех случаях, когда смазываемые машины расположены близко одна от другой, или требуется обслуживать отдельную машину, нуждающуюся в частой подаче смазки, при необходимости на ответвлениях от главной магистрали устанавливать вентили для отключения от смазочной системы механизмов, требующих более редкой подачи смазки, чем основные группы оборудования. Конечные системы наиболее целесообразно применять при линейном расположении смазываемых агрегатов и механизмов на участках большой длины.

**Петлевые системы.** Приведенная на рисунке 2 схема централизованной системы пластичной смазки петлевого типа состоит из оборудования, аппаратуры, контрольно-измерительных приборов и трубопроводов. 1. Двухлинейная смазочная станция, включая плунжерный насос. 2. Резервуар. 3. Заправочный клапан. 4. Заправочный насос. 5. Электродвигатель. 6. Конечный выключатель. 7. Реверсивный золотниковый распределитель с гидравлическим управлением. 8. Сетчатый фильтр. Магистрали I и II – основные линии подачи смазки. Магистрали Ia и IIa – обратные линии для переключения распределителя и возврата смазки в резервуар при достижении в системе максимального рабочего давления. 9. Самопишущий манометр – для контроля работы смазочной системы. 10. Отводы. 11. Питатели. 12. Трубопроводы от питателей к смазываемым точкам. 13. Питатели подключенные к продолжению магистральных трубопроводов за участком соединения с возвратными магистралями Ia и IIa. 14. Золотник линейного распределителя с электрическим управлением, сблокированный с прибором управления – для переключения мажевого потока в отводах. 15. Питатели для узлов с увеличенным периодом между поступлениями смазки. 16. Пароподводящая магистраль – для обогрева мазепроводов (смазочная система работает удовлетворительно только при температуре не ниже 15 °C). 17. Питатели, обслуживающие сма-

зываемые точки независимо от автомата. 18. Четырех-ходовой кран. 19. Командный прибор (прибор управления) – включение станции через определенные промежутки времени.

Недостатком петлевых систем является большой расход магистральных трубопроводов из-за наличия обратных линий. Преимуществом можно считать более легкую наладку станции благодаря отсутствию конечного выключателя в конце магистрали и большую надежность ее работы.

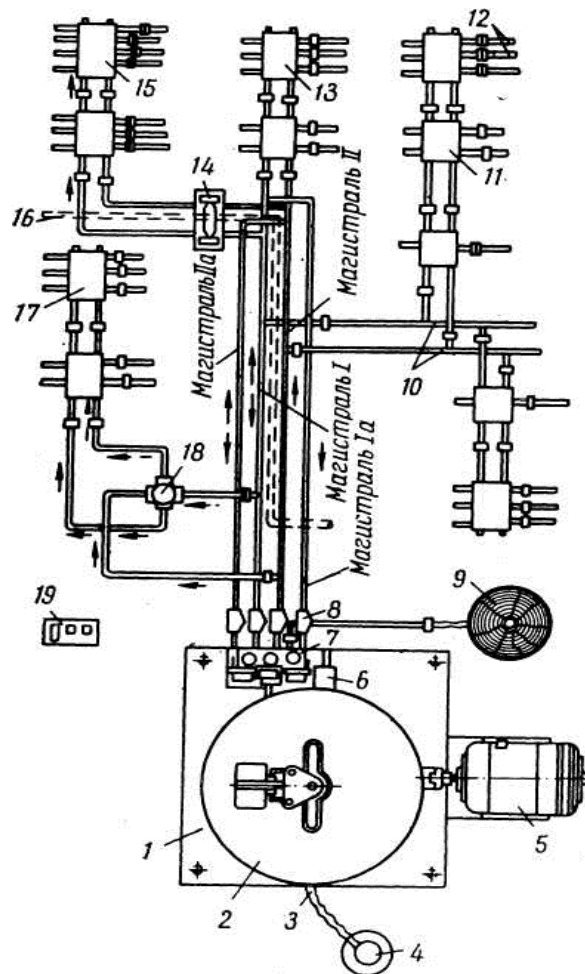


Рисунок 2 - Схема централизованной автоматической петлевой системы густой смазки

**Конечные системы** пластичной смазки отличаются устройством распределителя и наличием клапана давления, а также электрическими схемами и электрооборудованием (рисунок 3). Системы конечного типа применяют для смазки оборудования, расположенного линейно на участках большой протяженности, что характерно для металлургического оборудования. В конечных системах более простая разводка труб главной магистрали, так как не требуется вводить обратные линии, необходимые при петлевой системе.

1. Смазочная станция. 2. Резервуара. 3. Заправочный насос. 4. Заправочный клапан. 5. Электродвигатель и плунжерный насос. 6. Командный прибор, включающий станцию через заданные интервалы времени. 7. Самопишущий манометр. 8. Сигнальная лампа. 9. Сирена - включается при слишком длительной работе или несвоевременном пуске станции. 10. Клапан давления соединенный с конечным выключателем, установлен в конце наиболее длинного ответвления магистрали. 11. Питатели. 12. Магистральные трубопроводы. 13. Трубопроводы, подающие смазки к узлам трения. 14. Распределитель с электрическим управлением. 15. Сетчатые фильтры. 16. Электромагниты распределителя. 17. Линейные распределители с электрическим управлением - для периодического отключения от системы группы точек, которые не требуют подачи смазки при каждом цикле работы станции.

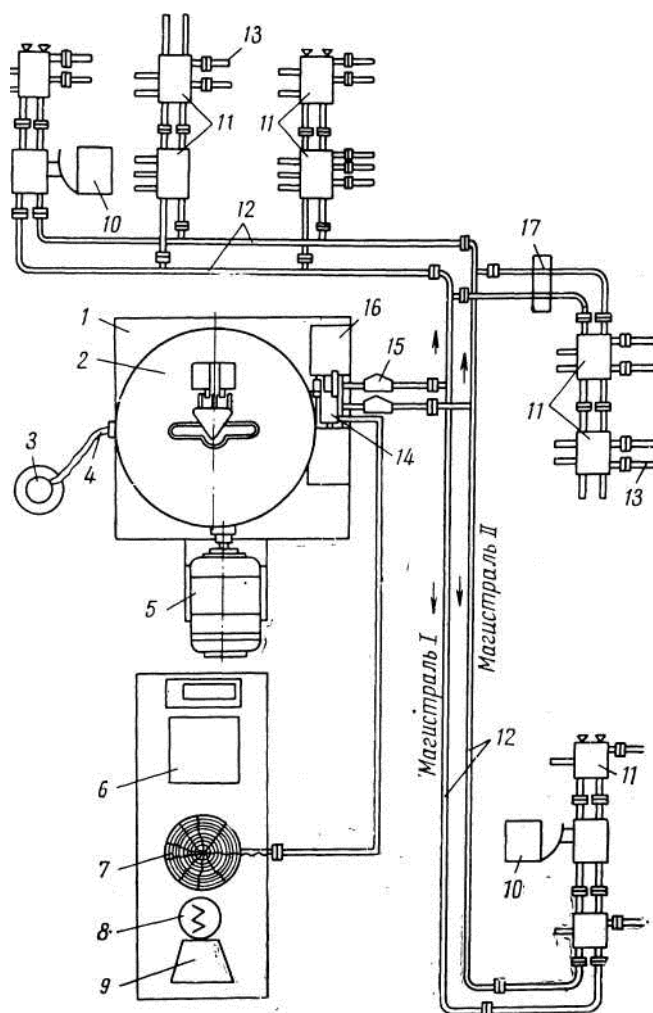


Рисунок 3 - Конечная система централизованной смазки

Работа питателей происходит следующим образом (рисунок 4): **положение I** - смазка, поступающая под давлением по магистрали А, опускает золотник 2, открывая при этом верхний косой канал 4; **положение II** - пройдя

через канал 4, смазка заставляет опускаться поршень 3; при этом смазочный материал из пространства под поршнем выдавливается по каналу 5 к узлу трения; **положение III** - смазка поступает по магистрали Б, и золотник 2 перемещается вверх; **положение IV** - пройдя через нижний косой канал, смазка заставляет поршень 3 подняться вверх, при этом смазочный материал из пространства над поршнем выдавливается по каналу 5 к узлу трения.

Штоки - указатели 1 всех питателей должны всегда занимать одинаковое положение: быть либо приподнятыми, либо опущенными вниз до упора. Питатели, не сработавшие в течение трех последовательных циклов нагнетания, подлежат ремонту или замене. Разработку и замену вышедших из строя питателей при подаче смазки автоматической станцией проводить только после переключения станции на ручное управление.

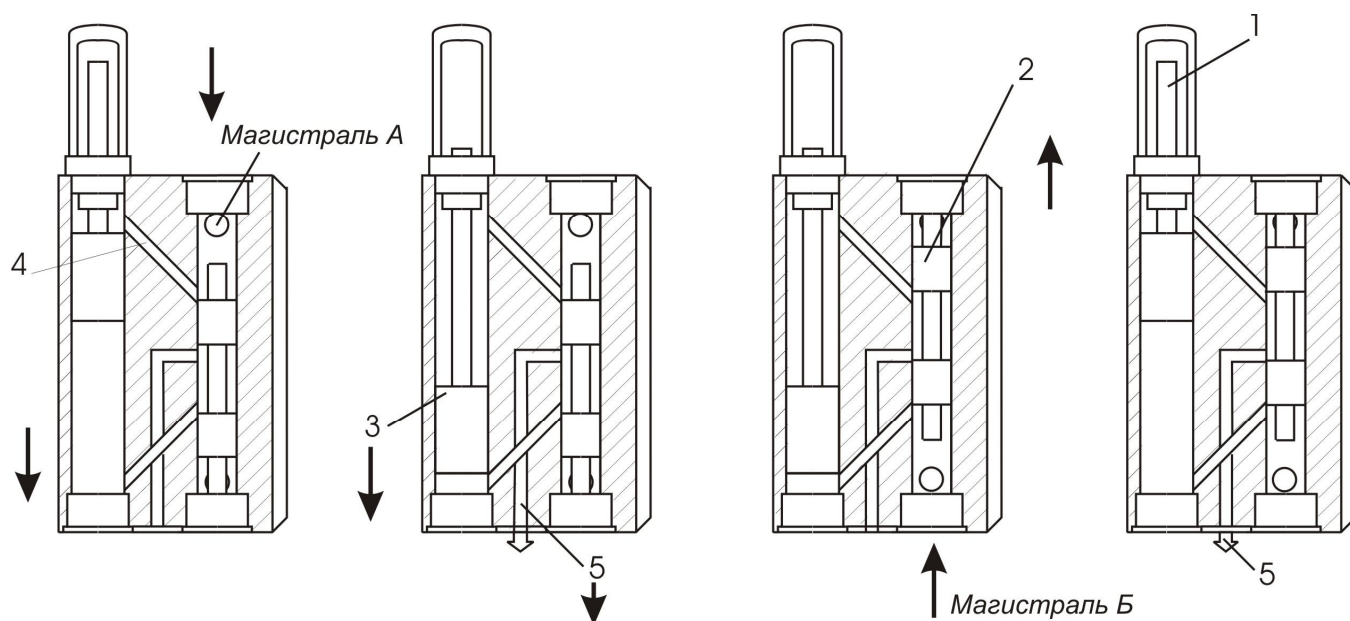


Рисунок 4 – Этапы работы питателей

### Эксплуатация централизованных систем густой смазки

1. Необходимо исключить возможность попадания в систему грязи, песка, воды, воздуха.
2. Используемая смазка должна быть однотипной, однородной без комков и посторонних включений.
3. Запрещается заполнять резервуар ручной станции через верх со снятой крышкой.
4. Исключить утечки смазки через питатели и трубопроводы. При замене труб новая труба должна быть протравлена или обработана пескоструйной машиной, промыта и наполнена мазью.
5. Запорные приспособления, установленные на мазе-

проводе, возле станций, должны быть открыты при работе. 6. Необходимо соблюдать сроки заполнения резервуара смазкой, не допускать их опорожнения. 7. Один раз в сутки менять диаграмму на самопишущем манометре. Результаты предыдущих суток необходимо проанализировать. 8. Не допускать возможности попадания мази в механизм самопишущего манометра. 9. Регулярно проверять показания манометров на контрольных точках. 10. Один раз в смену проверять работу питателя.

#### **Эксплуатация ручных станций.**

1. При нагнетании рукоятка не доводится до крайнего положения, с постоянным контролем давления. 2. Не оставлять систему под давлением. Рукоятка станции должна быть в вертикальном положении. 3. Предохранять станцию от загрязнения и от воздействия влаги. Желательно все питатели и смазываемые точки и отводы пронумеровать однотипно.

#### **Типичные случаи неполадок питателей.**

1. Поврежден корпус ограничителя. Заменить, если можно восстановить. 2. Погнут шток линейного питателя. Заменит шток, либо ограничитель. 3. Питатель срабатывает только вверх. У золотника очень длинный нижний хвостовик. 4. При нормальном давлении питатель пропускает смазку свыше положенной нормы. Либо нет золотника, либо золотник изношен.



#### 4. Жидкие смазочные материалы (характеристики)

**Типы жидких масел.** Минеральные масла, получаемые как продукт перегонки нефти. Синтетические масла. Растительные и животные масла. Растительные масла: льняное, конопляное, касторовое, пальмовое - работают при низких и высоких температурах. Животные масла: свиное сало, спермацетовое масло, костные масла - добавляют в минеральные масла при особых трениях.

**Физико-химические свойства смазочных масел.** Смазочные масла отличаются друг от друга своими физико-химическими свойствами: удельным весом, вязкостью, температурами вспышки и застывания, содержанием различных примесей, степенью очистки, коксуемостью, липкостью и стабильностью. Удельный вес масел 0,89...0,96.

**Вязкость** - внутренне трение, возникающее между слоями масла при относительном их перемещении под влиянием внешней силы. Различают динамическую, кинематическую и условную вязкость.

**Динамическая вязкость** - измеряется касательной силой (в Н), приходящейся на единицу площади ( $1 \text{ м}^2$ ) одной из двух горизонтальных плоскостей, находящихся на расстоянии 1 м друг от друга при условии, что одна из этих плоскостей неподвижна, а вторая движется со скоростью 1 м/сек, а пространство между ними заполнено исследуемым маслом.

Если сила равна 1Н, то единица динамической вязкости измеряется-1 Па·с. Размерность динамической вязкости  $\mu$  ранее измерялась в  $\text{кг} \cdot \text{с} / \text{м}^2$  (пуаз).  $98,07 \text{ пз} = 9,807 \text{ Па} \cdot \text{с}$ . Вода при  $t = 20^\circ \text{C}$  имеет динамическую вязкость 1спз (сантипуаз).

Отношение динамической вязкости  $\mu$  к плотности  $\rho$  при той же температуре называется кинематической вязкостью (удельный коэффициент внутреннего трения):  $\mu_k = \mu / \rho$ . Если единица плотности масла  $1 \text{ кг} / \text{м}^3$ , то единица кинематической вязкости  $1 \text{ м}^2 / \text{с}$ .

Раньше единицей измерения кинематической вязкости был стокс измеряемый в  $\text{см}^2 / \text{с}$  (ст). Сотая часть стокса - сантистокс. Кинематическая вязкость дистиллированной воды при  $+20^\circ \text{C}$  равна 1сСт.

**Условная вязкость** - отношение времени истечения стандартного объема масла через калиброванное отверстие при температуре  $50^\circ \text{C}$  или  $100^\circ \text{C}$

ко времени истечения такого же количества дистиллированной воды при температуре 20 °С. Для пересчета условной вязкости в кинематическую и динамическую пользуются приближенными формулами.

Величина обратная вязкости называется текучестью. Вязкость смазочных масел изменяется не только от температуры, но и от давления. С увеличением давления вязкость растет. Вязкость масел обратно пропорциональна температуре. Неизбежные при работе оборудования колебания температуры изменяют вязкость и скорость износа деталей. Слишком густое или слишком жидкое масло отрицательно влияет на поверхности трущихся деталей, уменьшая при этом их долговечность.

**Влияние температуры на вязкость** – с повышением температуры вязкость уменьшается. Зависимость вязкости от температуры, нелинейная. Индекс вязкости:  $\mu_k 50 / \mu_k 100$ . Температурный коэффициент вязкости:  $TKB = (\mu_k 0 - \mu_k 100) / \mu_k 50$ . Чем меньше ТКВ, тем выше эксплуатационные свойства масел.

**Температура застывания** - температура, при которой масло теряет текучесть и приобретает свойства пластической массы. Чтобы определить температуру застывания, масло наливают в пробирку площадью поперечного сечения 1 см, охлаждают и наклоняют на угол 45. Уровень масла не должен изменять своего положения в течение 1 мин. Чем лучше масло сохраняет текучесть, тем более пригодно оно для смазки узлов трения машин, работающих в условиях отрицательных температур. Подвижность масла сохраняется в некоторых случаях на 10...15 °С ниже, чем указано в их характеристиках.

**Антиокислительная стабильность.** Независимо от условий применения минеральные масла в результате действия кислорода воздуха окисляются с образованием продуктов окисления (кислот, смол, карбонидов). При этом изменяются физико-механические свойства масел: увеличивается (уменьшается) вязкость, повышается кислотное число. Чем выше рабочая температура масла и чем больше длительность пребывания постоянного объема его в механизме (маслобаке) тем интенсивнее протекает окисление и тем больше продуктов окисления скапливается в масле. Это приводит к нарушению нормальной работы механизма (загрязнению, коррозии, прекра-

щению движения), что вызывает через определенное время необходимость замены отработанного масла свежим.

**Противокоррозийные свойства** - определяются чувствительностью цветных металлов и сплавов к действию органических кислот, находящихся в минеральных маслах. Противокоррозийные свойства оцениваются. **Кислотным числом** (в мг КОН, затраченных на нейтрализацию 1 г масла), которое характеризует содержание в масле водорастворимых кислот и щелочей. **Коррозией поверхности** стальных и медных пластинок после их длительного пребывания в масле. Характеризует присутствие в масле сернистых соединений, что недопустимо.

**Температура вспышки** - температура, при которой масло выделяет пары, воспламеняющиеся от поднесенного к ним огня. Температура вспышки определяется содержанием легкокипящих или легкоиспаряющихся частей масла. Пригодность масла для работы в соприкосновении с сильно нагретыми поверхностями определяется температурой вспышки.

**Температура воспламенения** - температура при которой масло загорается и горит не менее 5 секунд.

**Маслянистость**, гибкость, смачиваемость - способность масла прилипать к поверхности. Оценивается в условных единицах. Самой лучшей маслянистостью обладает свиное масло – 100, рыбий жир - 69, касторовое масло – 57, авиационное масло - 16, машинное масло-13.

**Коксуемость** - свойство масел выделять твердый осадок (кокс) при нагреве без доступа воздуха до  $t = 500...600$  °С. Мерой коксуемости служит коксовое число - количество осадков, полученных прокаливанием 10 г масла.

**Зольность** – качество очистки масла и наличия в нем несгораемых веществ, равна количеству остатка, полученного после выпаривания, сжигания и прокаливания навески масла. Чем меньше зольность, тем лучше.

**Эмульгируемость** - способность масел образовывать с водой трудно-разделимые смеси. Оценивается числом деэмульсации – временем (минутах) полного разделения масла и воды.

**Присадки. Вязкостные** - изменяют вязкость при повышении температуры. **Моющие** – удаляют загрязнения на стенках трубопровода. **Дисперси-**

**онные** - понижают температуру застывания. **Противоизносные** присадки усиливают прочность масляной пленки, разделяющей поверхности трения. **Антиокислительные** повышают сопротивление масла окислению кислородом воздуха и увеличивают срок его службы. **Антипенные. Антизадирующие** - содержат серу, хлор, фосфор, образуют нестойкие соединения, защищающие поверхность металла от схватывания.

**Выбор смазочных масел.** При выборе определенного сорта масла должны быть учтены индивидуальные особенности рассматриваемой машины. В зависимости от условий и характера работы машин для их смазки употребляются масла различной вязкости, температуры вспышки и степени очистки. Для машины с большой удельной нагрузкой и небольшой скоростью следует принимать более вязкие масла.

Для маркировки масел по ГОСТ применяются следующие условные индексы: цифра показывает среднюю кинематическую вязкость в сантистоксах данного сорта масла, а буквы обозначают масло: Л - легкое; С - среднее; Т - тяжелое (высоковязкое); В - выщелоченное; А - автотракторное; К - кислотной очистки; С - селективной очистки; З - загущенное.

Чаще всего в подшипниках качения используют минеральные масла прямой перегонки без присадок. Масла, содержащие присадки, которые улучшают определенные свойства смазочного материала используют в особых случаях. Синтетические масла применяются в подшипниках в крайних случаях, например, при очень низких или очень высоких температурах. Характеристики смазочной пленки синтетического масла могут отличаться от характеристик минерального масла при одинаковой вязкости.

Выбор масла основан на величине вязкости, необходимой для эффективного смазывания подшипника при рабочей температуре. Вязкость масла зависит от температуры – то есть уменьшается с ростом температуры. В подшипниках качения рекомендуется применять масла с высоким индексом вязкости (малые изменения при росте температуры) – не менее 85 единиц.

Для того, чтобы в месте контакта тела качения с дорожкой образовалась достаточно толстая масляная пленка, масло при рабочей температуре должно обладать какой-то минимальной вязкостью. Кинематическая вязкость минерального масла, которая необходима, чтобы при рабочей темпе-

ратуре смазка была эффективной, определяется при помощи диаграммы (рисунок 1). Определенные типы подшипников, например, сферические роликоподшипники, конические роликоподшипники и сферические упорные роликоподшипники обычно при сходных условиях имеют более высокие рабочие температуры, чем подшипники других типов, например, радиальные шарикоподшипники и роликоподшипники с цилиндрическими роликами.

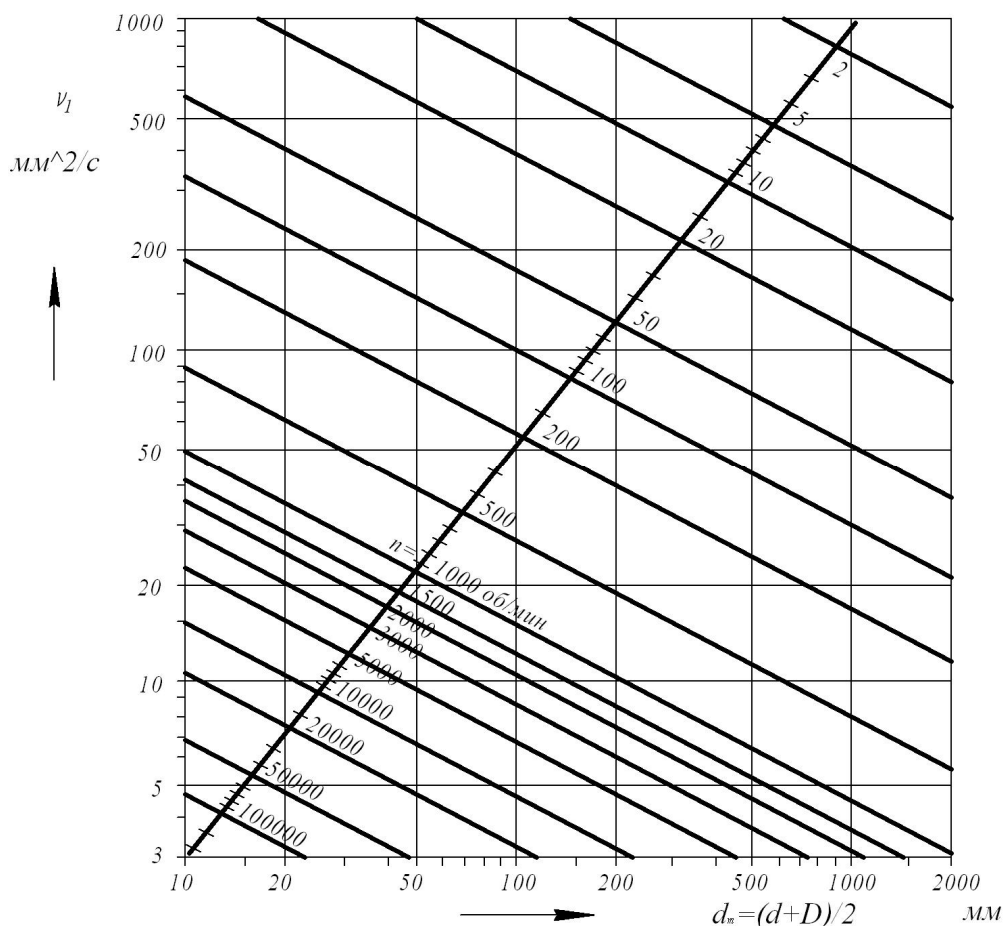


Рисунок 1 – Диаграмма для определения кинематической вязкости масла

**Выбор смазки для зубчатых передач.** При расчете систем смазки нужно выбрать сорт масла, выбрать метод смазывания, рассчитать подачу насоса, определить диаметр трубопровода. Вязкость масла рассчитывается по формуле:  $\text{ВУ}_{50} = 5 \cdot 10^{-3} \cdot m \cdot q$ ,  $m$  - коэффициент зависящий от окружной скорости (если  $V < 8$  м/с, то  $m = 1,6$ );  $q$  - усилие на единицу длины зуба.

Если рабочая температура масла выше  $50^\circ\text{C}$ , в формулу вводится поправка:  $\text{ВУ}_{50} = 5 \cdot 10^{-3} \cdot m \cdot q (t/50)^{-a}$ . Здесь  $a = 2,3 + (0,005 \cdot \text{ВУ}_{50} - 0,04 / \text{ВУ}_{50})$ .

**Выбор метода смазывания** - осуществляется на основе расчета теплового баланса. Если количество теплоты, выделяемое в узлах трения меха-

низма выводится в окружающую среду (температура масла не превышает 60 °С) применяется любой метод смазывания (например, погружением). Если количество теплоты, выделяемое в узлах трения механизма не выводится в окружающую среду (температура масла превышает 60 °С) применяются циркуляционные системы смазки. Разность температуры масла между входом и выходом не должна превышать 10...15 °С.

**Периодичность замены масла.** Масло меняется 1 раз в год, если температура не более 50 °С, при погружении. Если температура выше 100 °С замена масла должна проводиться каждые три месяца.

При циркуляционной системе смазки, то масло можно очищать, регулировать и контролировать его качество и замену.

#### **Индустриальные масла бракуются в следующих случаях.**

Вязкость отличается от нормы, установленной ГОСТом, более чем на 2 °ВУ (выше или ниже). Реакция водной вытяжки масла кислая. Кислая реакция обычно проявляется при значительно возросшем кислотном числе. Это способствует коррозии металлов - образуются металлические мыла в виде мазеобразных осадков. В первую очередь такой коррозии подвергаются цветные металлы. Значительно снизилась температура вспышки (на 6...7 °С и более)

Таблица 1 - Ассортимент минеральных масел

Наименование	Заменитель	Область применения
Индустриальное ИС-12	Веретенное	Для механизмов с числом оборотов 1500...5000 об/мин и малыми нагрузками для электродвигателей с кольцевой системой смазки и в других случаях.
Индустриальное ИС-20	Веретенное 3	Для механизмов работающих с малыми и средними нагрузками при частоте вращения 5000 об/мин и подшипниками скольжения с кольцевой смазкой.
Индустриальное ИС-30	Машинное А	Для механизмов работающих на средних режимах (подшипники качения, зубчатые передачи и направляющие). Для заливки слабо нагруженных редукторов, ножниц, прессов, ленточных и дисковых пил и для заливки в масляные ванны редукторов: кранов с лапами, кранов для разделения слитков, мультиметровых кранов.

## **5. Жидкие смазочные материалы**

### **(особенности, способы подачи и контроля)**

Жидкое масло используется в механизмах, которые работают с высокими скоростями или температурами, не позволяющими использовать пластичную смазку, когда тепло, подводимое извне или выделяющееся в результате трения, должно отводиться от узлов трения.

Способы подачи жидкостной смазки к поверхности трения. **Индивидуальная** - капельная, фитильная. **Погружением** - смазка осуществляется разбрызгиванием. Применяется при скорости вращения колес до 10 м/с. При погружении зубчатых колес в масляную ванну не всегда жидкий смазочный материал попадает в полном объеме в узлы трения и большая часть масла просто не используется. **Смазка под давлением** – циркуляционные системы жидкой смазки, жидкая смазка используется многократно, снижает коэффициент трения, охлаждает детали. **Смазывание кольцом** – применяется для подшипников скольжения. **Смазка масляным туманом**. При создании масляного тумана большая часть смеси попадает в окружающую среду, загрязняя её. **Система смазывания «масло-воздух»** - малое количество масла, уменьшение трения, уменьшение температуры, создается достаточно прочный несущий масляный слой, режимы работы - постоянное или периодическое смазывание. Недостаток - сложность разделения масло-воздушной смеси.

**Циркуляционная система жидкой смазки.** Существуют схемы с ротационно-поршневым насосом и с шестеренным насосом. Схемы включают. Перепускные, обратные, предохранительные клапана. Фильтры - дисковые, восстанавливаемые или одноразовые. Сливной, нагнетательный, подающий трубопроводы. Система подачи масла в узлы трения. Нагнетательная система – насосные установки. Масляный бак - магнитные ловушки, центрифуги, система очистки, системы нагрева, охлаждения (давление масла рекомендуется держать немного больше, чем давление воды). Запорная арматура. Средства контроля и измерения.

Наиболее простым способом жидкого смазывания является масляная ванна (рисунок 1). Масло захватывается вращающимися деталями подшипника и распределяется по нему, а затем стекает назад в масляную ванну.

Уровень масла, когда подшипник не вращается, должен достигать середины нижнего тела качения. Номинальное значение скоростей вращения при жидком смазывании, которые приводятся в таблицах подшипников, относятся к способу смазывания в масляной ванне.

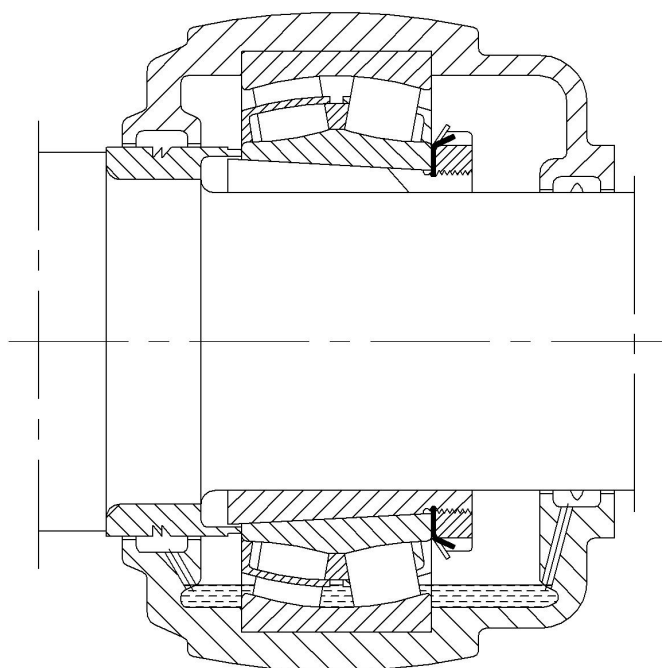


Рисунок 1 – Масляная ванна

При работе с более высокими скоростями вращения рабочие температуры увеличиваются, что ускоряет старение масла. Для того чтобы избежать частой смены масла предпочтительно организовывать циркуляцию масла (рисунок 2); циркуляция осуществляется насосом. После прохождения масла через подшипник оно фильтруется и при необходимости охлаждается перед новой подачей. Охлаждение масла позволяет поддерживать рабочую температуру подшипника на низком уровне.

Для работы при очень высоких скоростях необходимо, чтобы в подшипник попадало достаточное, но не избыточное количество масла, обеспечивающее смазывание, но не увеличивающее рабочую температуру подшипника. Одним из наиболее эффективных методов достижения такого режима является впрыск масла (рисунок 3), при котором струя масла под действием высокого давления направляется со стороны торца в подшипник. Скорость масла в струе должна быть достаточно высокой (не менее 15 м/с), чтобы часть масла проникала через завихрения, образующиеся вокруг вращающегося подшипника.



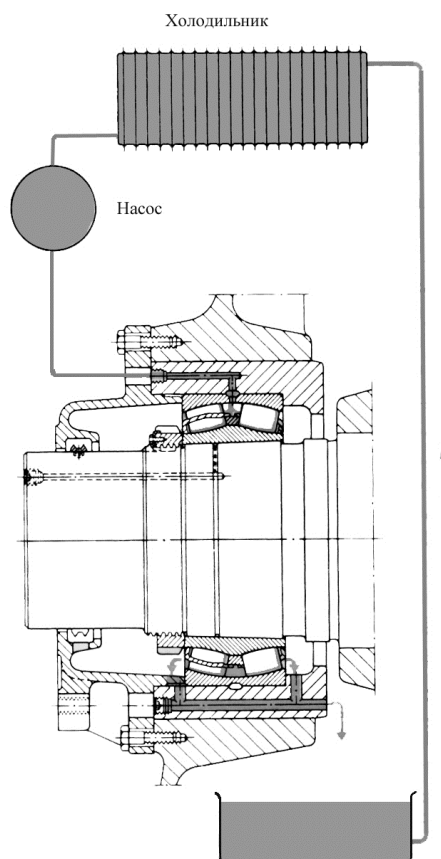


Рисунок 2 – Циркуляционная система смазывания жидким маслом

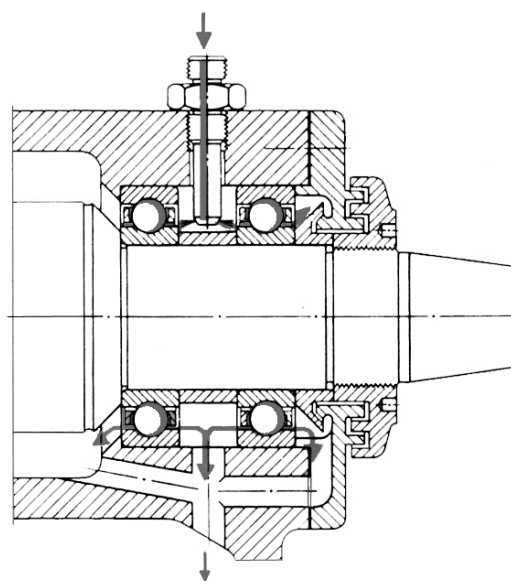


Рисунок 3 – Система впрыскивания масла в подшипниковый узел

Масловоздушное смазывание (рисунок 4) происходит небольшими, точно отмерянными дозами масла, направляемого на каждый подшипник сжатым воздухом. Минимальное количество подаваемого масла позволяет подшипникам работать при более низких температурах или при высоких скоростях вращения. Масло подается в каналы дозирующим агрегатом с заданной периодичностью и затем перемещается сжатым воздухом, покрывая

внутренние стены каналов. В подшипник масло подается через сопло. Сжатый воздух охлаждает подшипник и создает необходимое избыточное давление в подшипниковом узле, препятствующее проникновению внутрь загрязняющих веществ. Экономия смазочных материалов - до 30 раз, увеличение срока службы узлов трения в 2 раза. В постоянно обновляющейся тонкой жидкой масляной пленке не скапливаются абразивные продукты износа. При обслуживании не требуется промывка с использованием моющих составов в больших объемах. В зонах обслуживания нет разливов и выбросов лишней смазки.

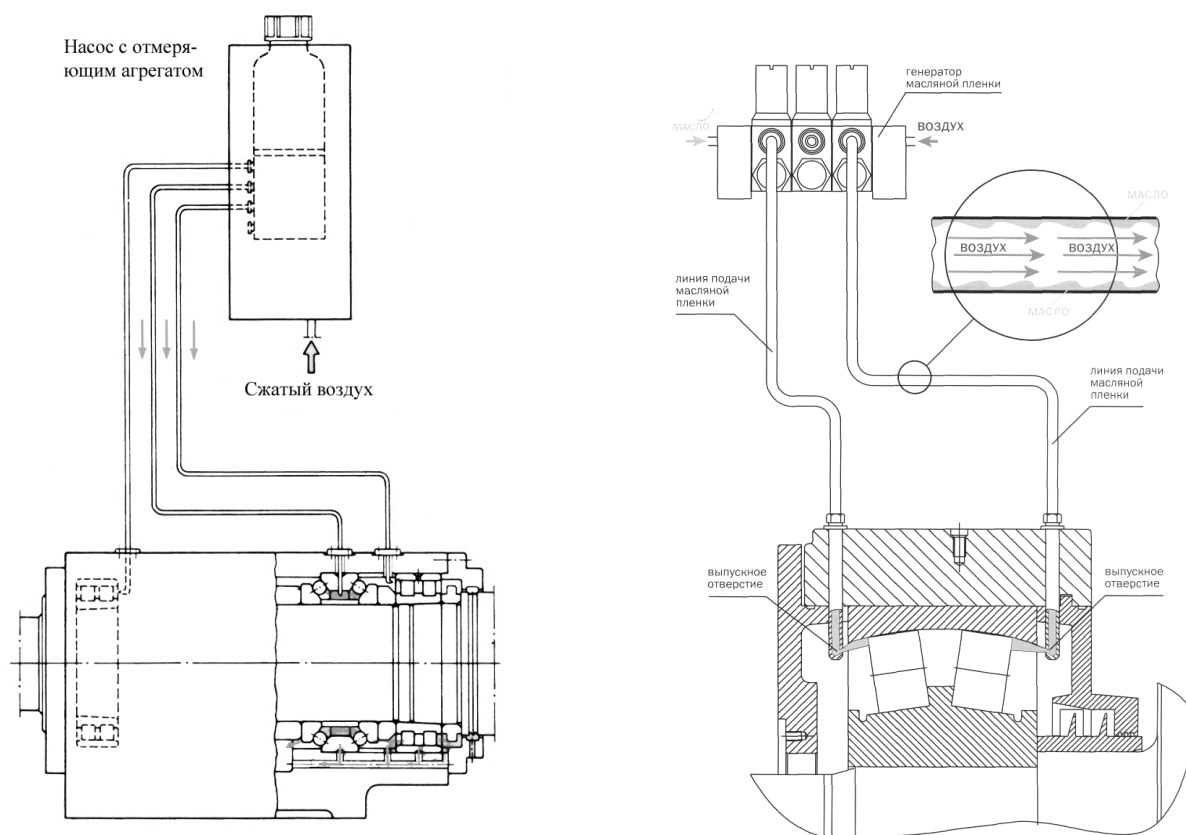


Рисунок 4 – Масловоздушное смазывание

При циркуляционном смазывании, смазки впрыском или масловоздушном смазывании необходимо убедиться, что масло, вытекающее из подшипника, может удаляться из подшипникового узла по каналам соответствующего размера. При масловоздушном смазывании масло проходит через подшипник только один раз.

#### Эксплуатация систем жидкой смазки.

1. Запуск системы смазки разрешается при исправном состоянии всех систем контроля. 2. Перед пуском системы подогревают масло до  $60...70^{\circ}\text{C}$ .

Включать систему необходимо за 15...20 мин до пуска агрегата. 3. При остановке систем жидкой смазки машинист или его помощник должны лично убедиться, что механизмы остановлены. 4. При работе систем жидкой смазки следить: за показаниями приборов, за состоянием масла в отстойнике. 5. Раз в год промывать резервуары горячей водой и убирать грязь в корпусах фильтров. 6. Периодически чередовать рабочие и резервные насосы. 7. Давление масла на входе в теплообменник должна быть выше, чем давление охлаждающей воды. 8. Необходимо следить за чистотой внутренней поверхности систем смазки. 9. Аварийный сигнал должен быть одновременно световым и звуковым. 10. Механизмы разрешается запускать только после того, как давление в магистрали достигнет как минимум 0,15МПа. 11. Необходимо наблюдать за работой указателей течения и подач масла. Следить за состоянием сопел, брызгал в редукторах. За состоянием фланцевых и резьбовых соединений. 12. Один раз в день спускать воду из водоотделителя.

#### **Возможные неисправности в работе шестеренных насосов.**

1. Насос не засасывает масло: насос не залит маслом; подсос воздуха на линии всасывания; велика высота всасывания.

2. Насос не нагнетает масло в систему: низкий уровень масла в баке или его отсутствие; неправильное вращение насоса; засорение всасывающего трубопровода или масляного фильтра; срезана шпонка вала или муфта проворачивается по валу; сломан вал; мала скорость вращения; велики торцевые зазоры между шестернями и втулками.

3. Велика потребляемая мощность: велико давление нагнетания; насос перекачивает холодное масло; насос перекачивает загрязненное масло; неравномерная затяжка болтов, деформация рамы или фундамента.

4. Повышенный шум при работе насоса: загрязнения трубопровода или фильтра; засорение всасывающих каналов; повышенная скорость вращения; повышенная вязкость масла; отсутствие сообщения пространства над маслом в баке с атмосферой.

6. Наружные утечки по валу насоса или в соединениях крышки с корпусом: засорение дренажных отверстий; износ или повреждение уплотнений; повреждение уплотнений в крышках.

## **6. Проверка качества смазочных материалов, продуктов изнашивания в смазке, качество смазывания.**

Примерно в 40 случаях из 100 причиной отказа является недостаток смазочного материала либо его загрязнение. Задача анализа качества смазывания имеет три основных направления: контроль поступления, анализ продуктов изнашивания и контроль качества смазочного материала.

Операции по **контролю поступления смазочного материала** определяются способом его подачи к деталям механизма. В основном это визуальные проверки: количества масла в редукторе - по уровнемеру, по масляному щупу; работы насоса подачи масла (при принудительной смазке); утечек; давления масла по манометру; работы питателей; подачи масла - через смотровое стекло на маслопроводе, по расходомеру; просачивания пластичного смазочного материала из уплотнительной части; состояния обрызгивания маслом зубчатых колёс.

Симптомы неисправности при контроле поступления смазочного материала зависят от способа смазывания. При контроле количества масла в редукторе по уровнемеру или по масляному щупу - это уровень меньший, чем нижний допустимый предел. Проверка работы насоса подачи масла включает поиск утечек, которые должны отсутствовать, и проверку давления масла по манометру, которое должно отвечать проектному значению. Работа питателей проверяется в случае использования пластичных смазочных материалов. Симптом неисправности питателей - неравномерная работа штоков либо отсутствие перемещения при переключении системы смазывания. Подача масла через смотровое стекло на маслопроводе позволяет определить отсутствие потока смазочного материала либо слишком большой поток масла (оптимальная толщина струи масла - 2...3 мм). В случае установки расходомера контролируется расход масла, который должен отвечать стандартному значению. Визуально определяется степень просачивания пластичного смазочного материала из уплотнительной части - чрезмерное просачивание или сухая уплотнительная часть являются симптомами неисправности. Аналогично проверяется состояния обрызгивания маслом зубчатых колёс через смотровое стекло - определяется недостаточность или неравномерность обрызгивания.

**Анализ продуктов изнашивания.** Включения в масло отражают характер и интенсивность износа элементов механизма, смазываемых маслом и характеризуются числом, концентрацией частиц и их химическим составом. При нормальном износе обнаруживаются частицы размером до 15 мкм и толщиной до 1 мкм. При трении - это гладкие круглые частицы. Начало интенсивного изнашивания сопровождается увеличением концентрации частиц и их размера до 50 мкм и появлением определенной формы (осколки, пластины неправильной формы, стружка). Дальнейшее развитие неисправности приводит к увеличению размера частиц до 100...300 мкм, а при выходе из строя - более 1000 мкм. Характеристика вида частиц при интенсивном изнашивании приведена в таблице 1. Возрастание концентрации элементов износа в масле начинается за 100...150 часов до возможного нарушения работоспособности сопряжения.

Таблица 1 - Характеристика частиц при интенсивном изнашивании

Характеристика	Изнашивание				
	Трение	Срез	Усталостное		
Вид	Гладкие частицы, круглые	Стружка; яркие чешуйки, боковые грани отполированы	Осколки с прямолинейными кромками	Шаровая форма	Пластины: неправильная окружность; "роза"
Размер, мкм	50...200	25...1500	>10...20	1...5	>10...50
Отношение размера к толщине	-	10	10	-	30
Идентификация	-	Разрушение зубьев передач, роликовых подшипников	Высокие нагрузки на шестерни	Начало изнашивания подшипников качения; кавитационное разрушение	Разрушение зубьев передач, разрушение шариковых подшипников

Методы определения продуктов износа в масле классифицируют по физическим процессам, заложенным в них: разделения частиц, оптической плотности, спектральным и хроматографическим. Методы разделения включают: количественный анализ накопившихся частиц в масле - магнитные и электрические детекторы; количественно-дисперсионный анализ - феррографы (магнито-оптические и магнито-емкостные).

Оптические анализаторы и феррографы, показывая увеличение размера частиц, раньше сигнализируют о неисправности, чем магнитные пробки и спектрофотометры, которые определяют количество (концентрацию) частиц в масле. Феррограф и детекторы стружки определяют ферромагнитные частицы, а спектрофотометр - все металлы, входящие в состав деталей механизма.

**Колориметрический метод** основан на сравнении оптической плотности (окраски) раствора, исследуемого веществами с параметрами стандартного раствора. С увеличением концентрации веществ в масле увеличивается его оптическая плотность (становится интенсивнее окраска раствора). Наиболее точно этим способом определяется концентрация железа.

**Спектральный анализ** основан на изучении спектра, получаемого при сжигании масла в зоне электрической дуги. Спектр регистрируется с помощью фотоэлектрических датчиков. Полученные данные сравнивают со спектрами эталонов, что позволяет определить наличие в масле продуктов износа, а интенсивность отдельных линий свидетельствует о концентрации элементов в масле. Способ спектрального анализа обладает высокой чувствительностью и точностью, но очень трудоемок.

**Условие отбора проб масел.** Плотность продуктов износа значительно выше плотности масла. После остановки механизма продукты износа осаждаются. Пробу берут сразу после остановки механизма или не менее чем через 10 минут после пуска. Пробы берут перед фильтром. Нельзя брать масло у дна редуктора, на котором всегда имеется осадок. Перед отбором пробы необходимо спустить отстой. Пробы берут на глубине 30...35 мм через отверстие для маслоизмерительного щупа или непосредственно из масляной магистрали. Пробы шприцем отбирают в сухую чистую посуду, заполняемую на 3/4 объема, плотно закрывают и готовят к транспортировке.

**Магнитное извлечение металлических примесей** проводится при помощи магнитов, опускаемых в масло или магнитных пробок установленных на сливных маслопроводах. Металлические частицы, являющиеся продуктами износа, прилипшие к поверхности магнита затем рассматривают при помощи лупы (6...10 кратного увеличения) или микроскопа, с целью определения причин их появления. Чувствительность магнитных пробок -

частицы с размерами более 100 мкм. Наибольшая эффективность метода для частиц свыше 200 мкм.

В первые, 100...150 часов работы механизма с циркуляционной смазкой на магнитных пробках наблюдается металлическая производственная стружка, имеющая рваную с темными краями кромку. При нормальной эксплуатации мелкие железные частицы образуют в масле пастообразную массу с частицами по 0,25 мкм, размер этих частиц в процессе работе не меняется.

**Аналитический феррограф.** Феррограмма - зафиксированное на предметном стекле распределение частиц. Жидкость, стекающая по стеклянной пластинке, подвергается воздействию постепенно увеличивающегося магнитного поля (рисунок 1). Это приводит к разделению частиц по размерам и позволяет определить их количество. Источник частиц может быть выявлен по их окраске при наблюдении в бихроматическом микроскопе. При нагреве феррограммы до 320...330 °С в течение 90...120 секунд частицы различных металлов принимают определенный цвет: углеродистой стали – голубой, чугуна – желто-коричневый; хром, свинец, алюминий – белосерый; окись железа – бурый; неметаллические включения – желтый и зеленый.

### **Контроль качества смазочного материала**

В процессе контроля проверяют: цвет, вязкость, температуру застывания и вспышки, плотность, содержание водорастворимых кислот и щелочей, механических примесей и воды. У пластичных смазочных материалов контролируют: пенетрацию, температуру каплепадения, наличие механических примесей и воды.

**Визуальный контроль цвета масла.** В случае жидкой смазки масло должно иметь цвет свежего масла. Изменение цвета масла указывает на наличие загрязняющих веществ, эмульгирование свидетельствует о наличии в масле воды. Вода в смазке приводит к появлению мутно-белого цвета. Светлые масла рассматриваются в проходящем свете на прозрачность. Для темных масел пробирка с маслом подогревается до 80 °С, потрескивание в ходе нагрева свидетельствует о присутствии воды. Присутствие воды в смазочном материале не приводит к существенному изменению характеристик

смазочного слоя, однако возникающие коррозионные процессы провоцируют абразивный износ.

Цвет пластичной смазки может изменяться от светло-желтого до темно-коричневого. О наличии примесей свидетельствует золотистый цвет, в случае подшипников скольжения и более темный цвет в случаях подшипников качения. Попадание воды в смазку вызывает появление мутно-серого цвета.

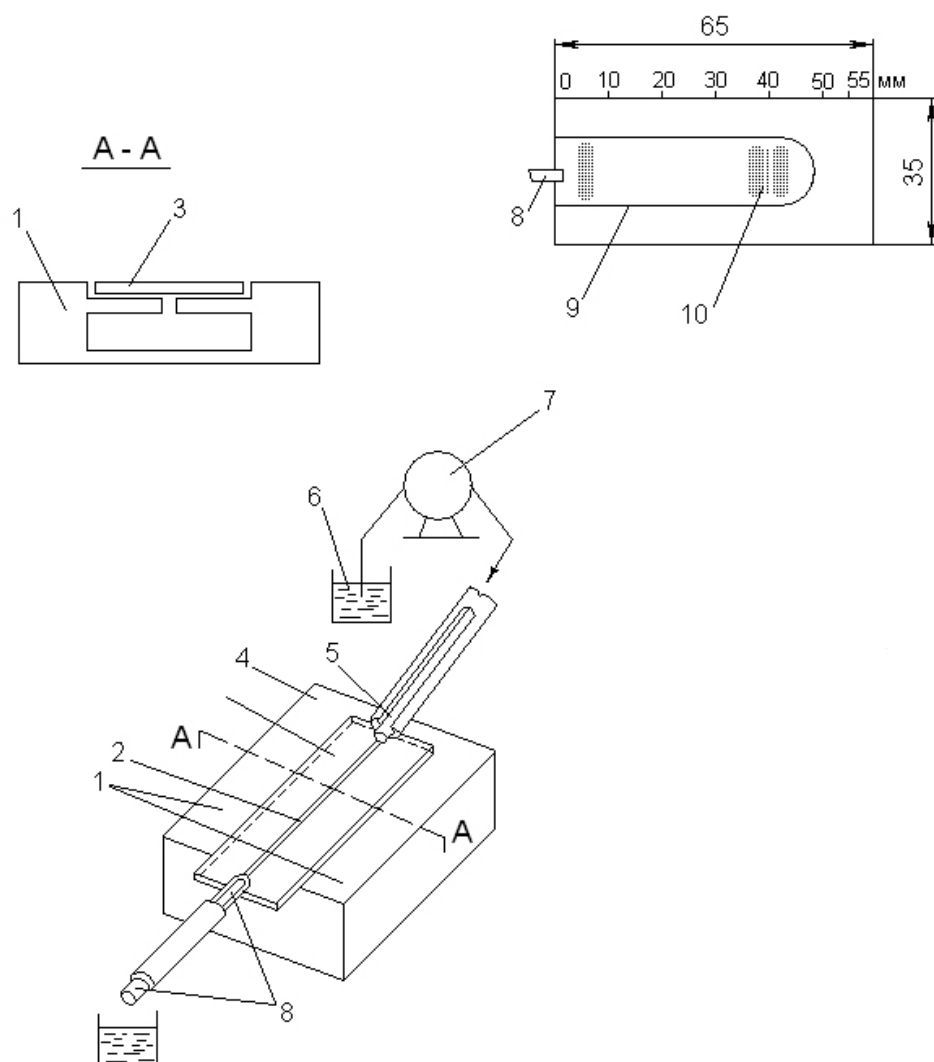


Рисунок 43 – Схема получения феррограмм аналитического феррографа: 1 – полюсы магнита; 2 – проба масла на пластине; 3 – предметное стекло для получения феррограммы; 4 – узел магнита; 5 – подвод пробы масла от насоса; 6 – сосуд с пробами масла; 7 – насос; 8 – отвод потока масла; 9 – несмазываемая стенка предметного стекла; 10 - феррограмма.



**Вязкость масла** должна отвечать стандартному значению. Помимо лабораторных способов вязкость может оцениваться визуально и на ощупь. В случае пластичной смазки мазь должна быть гладкой и мягкой без постоянных включений. **Вискозиметр** – определяет условную вязкость в условных градусах  $^{\circ}\text{ВУ}$ . Условная вязкость - отношение времени истечения 200 мл испытуемого масла при температуре испытания ко времени истечения 200 мл дистиллированной воды при температуре  $20^{\circ}\text{C}$ . **Вискомер** – определяет вязкость по скорости опускания шарика в пробе масла.

Для определения наличия воды в смазочных материалах используют марганцово-кислый калий. Это вещество не растворяется в нефтепродуктах, но легко растворяется в воде. Окрашивание белой ткани, в которую завернуты кристаллы марганцово-кислого калия, указывает на наличие воды.

При определении содержания воды в маслах может быть использовано ее свойство взаимодействовать с гидридом кальция. Реакция идет с выделением теплоты, то есть экзотермическая. Повышение температуры масла, после добавления в пробу навески гидрида кальция, позволяет определить содержание воды.

**Определение общего щелочного числа** проводится с использованием в качестве реагента щавелевой кислоты  $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ .

**Определение содержания водорастворимых кислот и щелочей** основано на получении водной вытяжки из масел и определения в ней кислот и щелочей с помощью метилоранжа и фенолфталеина.

Присутствие абразивных механических примесей в маслах определяют пробой на истирание. На чистое плоское стекло наносят несколько капель испытуемого масла и закрывают вторым стеклом. Передвигают стекла одно относительно другого, плотно прижав их пальцами. Если в масле присутствуют абразивные механические примеси, то слышен характерный скрип.

Определение содержания механических примесей в маслах основано на нанесении капли масла на фильтровальную бумагу и сравнении полученных после воздушной сушки пятен с эталоном.

**Хроматография** относится к физическим методам разделения смесей веществ с использованием различия распределений их компонентов между подвижной и неподвижной фазами. Чаще всего используются методы бу-

мажной хроматографии. Капля исследуемой жидкости (масла) наносится на бумагу и по размерам concentрических кругов определяется степень загрязнения. В центре, темным пятном, располагаются продукты износа, а снаружи - светлым кольцом вода, находящаяся в смазке (рисунок 2).

Коэффициент воды:  $K_{воды} = d_3/d_2$ , где  $d_3$  - диаметр внешнего кольца воды;  $d_2$  - диаметр кольца масла. Допустимое значение 1,3 - это соответствует примерно 2% воды в масле.

Коэффициент примеси:  $K_{примеси} = d_2/d_1$ , где  $d_1$  - диаметр внутреннего кольца примесей;  $d_2$  - диаметр кольца масла. Допустимое значение 1,4 - соответствует примерно 0,7% механических примесей.

По цвету ядра: допускаются - светло-желтый, темно-коричневый, серый цвета. Черный цвет ядра с блеском свидетельствует о работе смазки при повышенной температуре.

В общем случае масло считается отработанным и **подлежит замене** при выполнении хотя бы одного из следующих условий: повышение кислотного числа до 5 мг КОН на 1 г масла; изменение вязкости на 25 % от первоначального значения; содержание воды в масле свыше 2 %, если водная вытяжка имеет кислую реакцию свыше 0,5 %; наличие в масле свыше 0,5 % механических примесей; присутствие в масле примесей, оказывающих абразивное воздействие не допускается.

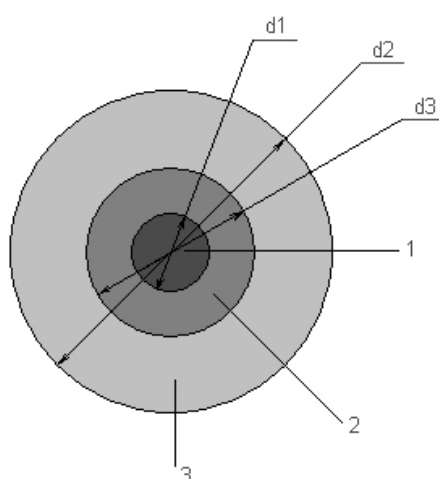


Рисунок 2 – Пояснение к использованию метода бумажной хроматографии: 1 – ядро; 2 – масло; 3 – вода

## 6. Уплотнение подвижных соединений

Область применения уплотнений — герметизация входных и выходных валов машин. Уплотнения предупреждают утечку масла из корпуса машин и защищают внутренние полости корпуса от внешних воздействий (проникновения пыли, грязи и влаги), герметизируют полости в машинах, содержащих газы и жидкости при высоких давлениях или под вакуумом. В роторных машинах необходимо уплотнение вращающихся валов и роторов; в поршневых машинах — уплотнение возвратно-поступательно движущихся частей.

Все системы уплотнений делят на **контактные** и **бесконтактные**. В первом случае уплотнение достигается непосредственным соприкосновением подвижной и неподвижной частей уплотнений. К числу этих уплотнений относят сальники, манжеты, разрезные пружинные кольца, торцовые уплотнения. Во втором случае контакт между частями уплотнения отсутствует. Уплотнительный эффект достигается с помощью центробежных сил, гидродинамических явлений. К числу этих уплотнений относят лабиринтные уплотнения, отгонные резьбы, отражательные диски, ловушки.

Контактные уплотнения обеспечивают более высокую герметичность соединений. Их недостатки: ограниченность допустимых скоростей относительного движения, изнашиваемость и потери уплотнительных свойств с износом. Бесконтактные уплотнения не имеют пределов по скоростям относительного движения; их срок службы не ограничен; уплотнительные свойства ниже, чем у контактных уплотнений; полной герметизации можно добиться лишь применением дополнительных устройств.

**Контактные уплотнения. Сальник** - кольцевая полость вокруг вала, набитая уплотняющим материалом. Для набивки применяют хлопчатобумажные ткани, шнуры, вываренные в масле, фетр, асбест и подобные материалы с добавлением металлических порошков (свинца, баббита), графита, дисульфида молибдена и других самосмазывающихся веществ. Недостаток — повышенный износ, сопровождающийся потерей уплотнительных свойств, и непригодность к высоким окружным скоростям.

Для компенсации осуществляют затяжку набивки. Надежность сальника резко возрастает при подводе смазки. При смазке уменьшается коэф-

фициент трения, тепловыделение и повышается герметичность. Периодическая подтяжка, требует внимания обслуживающего персонала. Перетяжка сальника, приводит к перегреву и выходу уплотнения из строя.

**Манжетные уплотнения** - выполненное из мягкого упругого материала кольцо с воротником, охватывающим вал. Под действием давления в уплотняемой полости воротник манжеты плотно охватывает вал с силой, пропорциональной давлению. Для обеспечения постоянного натяга воротник стягивают на валу кольцевой пружиной. Манжета должна быть расположена воротником навстречу уплотняемому давлению; при обратном расположении давление отжимает воротник от вала. При необходимости двустороннего уплотнения устанавливают две манжеты с воротниками, направленными в разные стороны. Наружную сторону манжеты плотно крепят к корпусу.

Манжеты чаще всего изготавливают из пластиков типа поливинилхлоридов и фторопластов, превосходящих кожу по упругости и износостойкости. Полихлорвиниловые манжеты выдерживают температуру до 80 °С. Фторопластовые манжеты могут работать при температурах до 300 °С.

**Армированные манжеты для валов** представляют собой конструкцию, устанавливаемую в корпус; манжету изготавливают из синтетических материалов. Воротник манжеты стягивается на валу кольцевой витой цилиндрической (браслетной) пружиной строго регламентированной силой.

Манжеты изготавливают прессованием или пресс-литьем (с опрессовкой внутренних металлических элементов) из эластичных, износостойких, масло- и химически стойких пластиков и резины. Браслетные пружины изготавливают из пружинной проволоки диаметром 0,2...0,5 мм и подвергают закалке и среднему отпуску, защищают кадмированием, цинкованием. Поверхности, по которым работают манжеты, должны обладать твердостью не менее HRC 45 и иметь шероховатость не более  $Ra = 0,16...0,32$  мкм.

**Уплотнение разрезными пружинными кольцами** надежно, оно может держать большие перепады давления и при правильном подборе материалов долговечно. Пружинные кольца изготавливают из закаленной стали, перлитного чугуна, ковanej бронзы и устанавливают в стальном корпусе, термообработанном до твердости HRC 40...45. Наружную втулку уплотне-

ния выполняют из закаленной, цементованной или азотированной стали. Кольца сажают в канавки корпуса с осевым зазором 0,005...0,020 мм. Под действием перепада давления кольца прижимаются торцами к стенкам канавок корпуса. Обычно устанавливают два — три кольца; при повышенном перепаде давления число колец доводят до пяти — шести.

В многокольцевых уплотнениях, работающих при высоких перепадах давления, наиболее нагружено первое, ближайшее к герметизируемой полости кольцо. Со временем на торцевой поверхности колец образуется ступенчатая выработка - результат прижатия кольца к стенке канавки. Для равномерного распределения нагрузки между кольцами и для подвода масла к трущимся поверхностям (при уплотнении маслосодержащих полостей) в первом (или в нескольких кольцах) выполняют разгрузочные отверстия.

**Уплотнение резиновыми кольцами**, вводимыми в канавки вала или промежуточной втулки, имеют ограниченное применение. Кольца выполняют из мягких сортов маслостойкой и термостойкой синтетической резины. Недостатки уплотнений резиновыми кольцами — ненадежность работы, быстрый износ резины в процессе эксплуатации, неопределенность сил прижатия. Чаще применяют резиновые кольца в установках с возвратно-поступательным движением вала.

**Бесконтактные уплотнения. Щелевые уплотнения.** Наиболее простой вид бесконтактного уплотнения - кольцевая щель между валом и корпусом. Уплотняющая способность кольцевой щели пропорциональна длине и обратно пропорциональна величине зазора. При практически осуществимых длинах щели и величинах зазора уплотнение это малоэффективно.

**Уплотнения отгонной резьбой** применяют для герметизации полостей, содержащих жидкости. На валу или во втулке (или одновременно) выполняют резьбу (многозаходную). Направление резьбы согласовывается с направлением вращения вала так, чтобы витки отгоняли уплотняемую жидкость, в корпус. Уплотнение — нереверсивное; при перемене направления вращения витки гонят жидкость в обратном направлении - из корпуса.

Уплотняющая способность отгонной резьбы пропорциональна длине резьбового пояса, скорости вращения вала, вязкости жидкости, обратно пропорциональна высоте резьбы и очень зависит от зазора между гребеш-

ками витков и стенками отверстия. Уплотнение работает удовлетворительно, если радиальный зазор не превышает 0,05...0,06 мм. При зазоре свыше 0,1 мм уплотнение становится бесполезным.

**Гребешковые уплотнения.** Цель установки гребешковых уплотнений — разбить масляную пленку, ползущую по валу, и отбросить масло действием центробежных сил в кольцевую полость, откуда оно стекает в корпус по дренажным отверстиям. Маслосбрасывающие гребешки выполняют непосредственно на валу или на съемных деталях. При не высоких частотах вращения гребешок заменяют разрезным пружинным кольцом.

**Уплотнение отражательными дисками.** Отражательные диски устанавливают перед щелевыми уплотнениями с целью преградить доступ масла в щель и отогнать действием центробежной силы частицы масла.

**Торцовые уплотнения** принадлежат к числу контактных уплотнений. На валу устанавливается диск, фиксирующийся от вращения относительно вала. Диск постоянно прижимается пружиной к укрепленной на корпусе неподвижной шайбе. Уплотняемая среда (жидкость, газ) может просачиваться через уплотнение в двух направлениях: через торец диска и через кольцевой зазор между диском и валом.

Торцовое уплотнение состоит из двух уплотнений: торцового и радиального. Радиальное уплотнение работает в более легких условиях, чем торцовое, так как диск имеет незначительные перемещения вдоль вала. Здесь пригодно любое уплотнение — резиновыми кольцами, разрезными пружинными кольцами, сальниками, манжетами. Просачивание через радиальный зазор можно исключить полностью, уплотнив зазор мембраной, сильфоном.

Основное достоинство торцовых уплотнений заключается в том, что износ трущихся поверхностей компенсируется перемещением уплотняющего диска в осевом направлении под действием пружины. Торцовое уплотнение обладает свойством самоприрабатываемости; при правильном выборе материала трущихся поверхностей и подводе незначительного количества смазки уплотнение может работать в течение долгого времени при хорошем состоянии поверхностей контакта, обеспечивающем надежное уплотнение.

Для поверхностей трения применяют антифрикционные пары: сталь — баббит, закаленная или азотированная сталь — бронза, графитовые и угольные композиции, пластики. В наиболее ответственных случаях применяют твердые сплавы (литые и металлокерамические) в паре друг с другом или с более мягкими материалами из числа указанных выше. Поверхности трения обрабатывают до шероховатости  $R_a = 0,16 \dots 0,32$  мкм. Подвижные уплотняющие диски должны обеспечивать строгую перпендикулярность торцовой поверхности относительно цилиндрической поверхности, а также параллельность торцов подвижного и неподвижного дисков.

**Комбинированные уплотнения.** Для повышения надежности устанавливают последовательно два (и более) уплотнения разного вида. Некоторые виды уплотнений хорошо взаимосвязываются друг с другом и встраиваются в один узел без значительного увеличения габаритов.

**Лабиринтные уплотнения** применяют для уплотнения полостей, заполненных газом и паром. Действие их основано на торможении (завихрении) газа в узкой кольцевой щели с последующим расширением в смежной кольцевой камере большого объема. В кольцевой щели давление преобразуется в скоростной напор; по выходе газа из щели давление восстанавливается, но только частично; часть давления расходуется на необратимые потери при завихрении-расширении. Чем больше эти потери (чем меньше сечение щели и острее образующие ее кромки), тем меньшая доля давления восстанавливается в камере, тем эффективнее работает уплотнение.

Последовательной установкой ряда камер, разделенных узкими щелями, достигают существенного уменьшения перетекания. Лабиринтные уплотнения применяют при высоких окружных скоростях и температурах, когда исключена возможность установки контактных уплотнений.

Лабиринтное уплотнение не может полностью исключить истечение газа. Непрерывное движение газа вдоль лабиринта лежит в основе принципа действия лабиринта и является непременным условием функционирования. Лабиринт может только ослабить поток газа через уплотнение.

**Гидравлические центробежные уплотнения** состоят из крыльчатки, вращающейся в замкнутой кольцевой полости, в которую залита уплотняющая жидкость (масло, вода). Центробежной силой жидкость прижимается

к периферии полости. Разность центробежных сил, действующих на жидкость со сторон крыльчатки, определяет давление, которое держит уплотнение.

#### **Уплотнение возвратно-поступательно движущихся деталей.**

**Уплотнение штоков** сальником. Возвратно-поступательно движущиеся штоки уплотняют чаще всего сальниками с набивкой из материала, соответствующего условиям работы уплотнения. При невысоких давлениях и температурах (штоки гидравлических, пневматических цилиндров) применяют уплотнение резиновыми кольцами, устанавливаемыми в выточки корпуса.

В условиях высоких давлений и температур применяют сальники с металлическими пружинно-затяжными кольцами. Уплотнение состоит из набора чередующихся конических и обратно-конических колец. При затяжке наружные кольца упруго расширяются, прилегая к поверхности корпуса, внутренние кольца сжимаются, уплотняя поверхность вала.

**Уплотнение сегментными кольцами.** Сегментные металлические кольца — это кольца, разделенные в радиальном направлении на несколько частей (обычно на три). Такое уплотнение сложно в изготовлении и требует тщательного монтажа, но оно надежно и способно выдерживать весьма высокие давления и работать при высоких температурах.

#### **Уплотнение неподвижных соединений**

Для обеспечения герметичности плоские стыки уплотняют листовыми прокладками из упругого материала. На прокладках ставят крышки маслосодержащих резервуаров, работающих под давлением или вакуумом, фланцы трубопроводов. Прокладочный материал выбирают в зависимости от условий работы, величины давления, температурного режима. Для уплотнения применяют: прокладочную бумагу толщиной 0,05...0,15 мм, кабельную бумагу (бумагу, пропитанную бакелитом или другими синтетическими смолами), прокладочный картон толщиной 0,5...1,5 мм, прессшпан. Наилучшими свойствами обладают прокладки из синтетических материалов.

Для соединений, работающих при высоких температурах, применяют прокладочные материалы с асбестом (асбестовую бумагу, асбестовый



картон). Паропроводы уплотняют паронитом - композиция асбеста с натуральной или синтетической резиной. Паронит выдерживает температуру до 450 °С. При высоких температурах применяют листовые прокладки из пластичных металлов — листового свинца, алюминиевой и медной фольги. Такие прокладки - требуют повышенного усилия затяжки.

Широко применяют герметики — уплотняющие мази разнообразной рецептуры, преимущественно на основе натуральной или синтетическое резины, с соответствующими растворителями. Для уплотнений, работающих при высоких температурах, применяют термостойкие мази. Герметики выпускаются в виде паст и лаков. Их наносят на уплотняемые поверхности поливом, кистью или шпателем.

Прокладки из мягких материалов после однократного пользования подлежат замене. Применяют армированные прокладки, состоящие из упругого материала (резины, пластика, асбеста и т. д.), заключенного в оболочку из мягкого металла (меди, латуни). Параметр Ra шероховатости должен быть не более 1,6 мкм иначе добиться герметичности соединения трудно. Круглые фланцы уплотняют также упругими металлическими кольцами, чаще всего Z-образного сечения (так называемые гофровые кольца). Круглые фланцы с центрирующими буртиками уплотняют шнурами из упругих материалов (резины, синтетики), которые закладывают в канавки, проделанные в буртике. При таком расположении на стыке обеспечивается чистый контакт «металл по металлу». Способ применяют только для «холодных» стыков.

Самый простой способ уплотнения ввертных деталей — смазывание витков резьбы герметизирующими составами. При этом способе затрудняется отвинчивание деталей вследствие «прилипания» герметизирующей мази к резьбе после некоторого периода эксплуатации.

Не рекомендуется применяемая в ремонтных условиях «подмотка» ближайших к торцу ввертной детали витков резьбы.

Простейший вид уплотнения — установка резинового кольца круглого сечения в канавке гильзы. В свободном состоянии кольцо выступает над поверхностью гильзы, при введении гильзы в рубашку кольцо сжима-

ется и уплотняет стык гильзы и рубашки. Для увеличения надежности уплотнения устанавливают последовательно несколько колец.