

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
НОВОТРОИЦКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра металлургических технологий и оборудования

Д.Р. Ганин, П.В. Гавриш

СОСТАВ И СВОЙСТВА СМАЗКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Учебно-методическое пособие
для студентов направления подготовки бакалавров
15.03.02 Технологические машины и оборудование
всех форм обучения

Новотроицк, 2020

УДК 621.892.2

ББК 34.41

Г 19

Рецензенты:

Доцент кафедры металлургических технологий и оборудования Новотроицкого филиала ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС», к.т.н.

М.В. Харченко

Ведущий специалист дирекции по персоналу АО «Уральская Сталь», к.т.н.

А.В. Заводяный

Ганин Д.Р., Гавриш П.В. Состав и свойств смазки металлургического оборудования: учебно-методическое пособие для студентов направления подготовки бакалавров 15.03.02 Технологические машины и оборудование всех форм обучения. – Новотроицк: НФ НИТУ «МИСиС», 2020. – 98 с.

Пособие предназначено для организации самостоятельной работы студентов при изучении дисциплины «Состав и свойства смазки металлургического оборудования».

В пособии приведены сведения о видах, применении, характеристиках, выборе смазочных материалов, рассмотрены требования к содержанию, организации выполнения, оформлению домашнего задания/контрольной работы, предусмотренных учебными планами Новотроицкого филиала НИТУ «МИСиС».

Пособие составлено в соответствии с требованиями ОС ВО НИТУ «МИСиС» для бакалавров направления подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование.

Рекомендовано Методическим советом НФ НИТУ «МИСиС»

ISBN 978-5-903472-37-6

© Новотроицкий филиал
ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический
университет «МИСиС», 2020.

Содержание

Введение.....	5
1 Цель выполнения, основные задачи и содержание домашнего задания/контрольной работы.....	7
2 Руководство домашним заданием/контрольной работой и организация их выполнения.....	8
3 Основные термины и определения, связанные со смазкой.....	9
4 Общие сведения о видах смазочных материалов, их применение в металлургии и физико-химические характеристики.....	10
5 Жидкие смазочные материалы.....	19
6 Присадки.....	27
7 Пластичные смазочные материалы.....	34
8 Твердые смазочные материалы.....	37
9 Металлоплакирующие смазочные материалы.....	40
10 Смазывание узлов машин при эксплуатации.....	45
11 Изменение свойств смазочного материала в эксплуатации.....	47
12 Направления развития смазочных материалов	53
13 Выбор смазочных материалов	54
13.1 Выбор смазочных материалов для подшипников скольжения.....	58
13.2 Выбор смазочных материалов для подшипников качения.....	61
13.3 Выбор смазочных материалов для зубчатых передач.....	62
13.4 Выбор смазочных материалов для червячных и глобоидных передач.....	65
13.5 Выбор смазочных материалов для реечных передач.....	67
13.6 Выбор смазочных материалов для зубчатых муфт.....	68
13.7 Выбор смазочных материалов для цепных передач.....	68
13.8 Выбор смазочных материалов для узлов трения, работающих при высоких температурах.....	69
13.9 Выбор смазочных материалов для узлов трения, работающих при низких температурах.....	69
14 Примеры решения задач.....	71
15 Задачи для выполнения домашнего задания/контрольной работы.....	75
16 Оформление домашнего задания/контрольной работы.....	83
17 Оценка выполнения домашнего задания/контрольной работы.....	84
18 Перечень вопросов для защиты домашнего задания/контрольной работы.....	85
19 Рекомендуемый перечень литературы для выполнения домашнего	

задания/контрольной работы.....	87
Список использованных источников.....	89
Приложение А. Образец титульного листа.....	90
Приложение Б. Сведения о смазках.....	93

Введение

Ни один современный механизм, ни одна машина не могут работать без смазки поверхности трения. Смазывание поверхностей трения деталей машин необходимо для уменьшения сил трения, интенсивности изнашивания и нагревания деталей, а также для предохранения поверхностей от коррозии [1]. Уменьшение нагрева в зоне контакта достигается не только за счет снижения трения, но и путем отвода избыточного тепла из зоны трения. Что касается защиты от коррозии, то далеко не все смазки выполняют эту функцию; некоторые смазки сами могут инициировать коррозию, если не принимать определенные меры предосторожности и некоторые смазки, обеспечивающие в исходном состоянии коррозионную защиту, в процессе эксплуатации могут насыщаться водой или кислотами и стать опасными в этом отношении. Кроме того, смазочный материал оказывает демпфирующее и охлаждающее действие. Поток смазочного материала отводится как теплота, возникающая при трении, так и теплота от нагретых частей машины. Поток масла также выносятся из зоны трения продукты изнашивания. Демпфирующее действие смазочного материала заключается в снижении динамичности переменной нагрузки и в уменьшении поперечных и продольных колебаний при переходе через критическую частоту вращения валов, что позволяет уменьшать удары, вибрацию и шум в узлах трения.

Следовательно, многоцелевое назначение смазывания влияет на большую часть процессов, протекающих в машинах. Эффект смазки зависит от того, насколько свойства применяемых смазочных материалов соответствуют условиям работы поверхностей трения и от способа подачи к ним этих материалов. В свою очередь, способ подачи смазочного материала зависит от конструкции и условий работы смазываемых деталей.

Узлы трения металлургического оборудования из-за попадания в них из окружающей среды абразивных частиц, паров, газов, воды; больших нагрузок и повышенных температур работают в тяжёлых условиях. Одним из эффективных средств увеличения срока службы узлов трения является правильный выбор смазочных материалов.

Рациональную эксплуатацию действующих и вновь устанавливаемых металлургических агрегатов обеспечивает комплекс работ, складывающийся, в том числе из систематической смазки оборудования.

Перечисленные знания и указанные работы входят в компетенции и повседневные обязанности механиков металлургических предприятий, а изучение теоретических основ и методов проведения этих работ – необходимая ответственная часть обучения бакалавров по направлению подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование».

Изучение дисциплины «Состав и свойства смазки металлургического оборудования» сопровождается выполнением домашнего задания/контрольной работы, являющихся самостоятельными работами студента, связанными с условиями, приближенными к тем, с которыми он столкнется после окончания обучения в высшем учебном заведении.

Качество выполнения домашнего задания/контрольной работы позволяет оценить способность студентов на основе приобретенных знаний технически грамотно решать практические задачи.

Настоящее учебно-методическое пособие содержит сведения о видах, применении и характеристиках смазочных материалов; требования к тематике, содержанию, организации, выполнению, оформлению и защите домашнего задания/контрольной работы, предусмотренных учебными планами Новотроицкого филиала НИТУ «МИСиС» по дисциплине «Состав и свойства смазки металлургического оборудования» направления подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» и предназначены для бакалавров, обучающихся по указанному направлению.

При выполнении домашнего задания/контрольной работы по дисциплине «Состав и свойства смазки металлургического оборудования» обучающиеся приобретают знания, умения и навыки по следующим компетенциям: ПК-3.4 (знать основы теории надежности, основные виды износа материала деталей и их причины; уметь рассчитывать показатели надежности, анализировать работоспособность машин в процессе их эксплуатации, планировать мероприятия по повышению надежности машин, владеть методами повышения надежности и работоспособности технологических машин и оборудования), ПК-3.6 (знать положения теории смазки, свойства смазок и масел, виды и принцип работы систем смазки, уметь выбирать смазочные материалы, проводить расчет систем смазки, составлять схемы смазки оборудования, владеть навыками экспериментального определения потерь в подвижном соединении, интенсивности изнашивания в сопряжениях), УК-11.1 (знать основные теории трения и изнашивания деталей, основные свойства смазочных материалов; производить расчет смазки подшипниковых узлов, выбирать тип смазочного материала для основных типов агрегатов машин; владеть профессиональной терминологией и базовыми методами оценки триботехнических характеристик пар трения).

1 Цель выполнения, основные задачи и содержание домашнего задания/контрольной работы

Целью выполнения домашнего задания/контрольной работы являются: закрепление и углубление теоретических и практических знаний, полученных при изучении дисциплины «Состав и свойства смазки металлургического оборудования» и развитие навыков самостоятельного решения вопросов по выбору смазочных материалов для узлов трения металлургических машин.

Основная задача домашнего задания/контрольной работы: научиться определять марку смазочного материала для подшипников скольжения и качения, зубчатых зацеплений, червячных и глобоидных передач.

Домашнее задание/контрольная работа по дисциплине «Состав и свойства смазки металлургического оборудования» должны содержать четыре задачи в которых необходимо подобрать марку минерального масла для:

- подшипников скольжения;
- подшипников качения;
- зубчатого зацепления;
- червячной или глобоидной передачи.

2 Руководство домашним заданием/контрольной работой и организация их выполнения

Руководство домашним заданием/контрольной работой и контроль за ходом их выполнения осуществляет преподаватель дисциплины «Состав и свойства смазки металлургического оборудования».

Перед началом выполнения домашнего задания/контрольной работы студентам разъясняются: цели, задачи и порядок выполнения домашнего задания/контрольной работы; требования, предъявляемые к оформлению решений задач; сообщаются сроки отчетности и выдаются задачи. Поясняется сущность выданных задач, рекомендуется необходимая для их решения техническая и справочная литература, нормативная документация.

Руководство домашним заданием/контрольной работой осуществляется путем проведения консультаций.

Руководителем домашнего задания/контрольной работы в ходе консультаций даются ответы на вопросы студентов и оказывается научно-методическая помощь им.

3 Основные термины и определения, связанные со смазкой

Смазочный материал – материал, вводимый на поверхности трения для уменьшения силы трения и (или) интенсивности изнашивания.

Смазка – действие смазочного материала, в результате которого между двумя поверхностями уменьшается сила трения и (или) интенсивность изнашивания.

Смазывание – подведение смазочного материала к поверхности трения.

По характеру разделения поверхностей трения смазочным слоем смазку делят на гидростатическую (газостатическую), гидродинамическую (газодинамическую), граничную и полужидкостную.

Гидростатическая (газостатическая) смазка – жидкостная (газовая) смазка, при которой полное разделение поверхностей трения, находящихся в относительном покое или движении, осуществляется за счет подачи жидкости (газа) под внешним давлением в зазор между ними.

Гидростатическая (газодинамическая) смазка – жидкостная (газовая) смазка, при которой полное разделение поверхностей трения, осуществляется в результате давления, самовозникающего в слое жидкости (газа) осуществляется за счет подачи жидкости (газа) под внешним давлением в зазор между ними.

Гидродинамическая (газодинамическая) смазка — жидкостная (газовая) смазка, при которой полное разделение поверхностей трения осуществляется в результате давления, самовозникающего в слое жидкости (газа) при относительном движении поверхностей трения.

Граничная смазка — смазка, при которой трение между поверхностями, находящимися в относительном движении, определяется свойствами поверхностей и свойствами тонкого слоя смазочного материала, которые отличаются от его объемных свойств.

Полужидкостная смазка — смазка, при которой поверхности трения разделены слоем смазочного материала только частично, в отличие от жидкостной смазки, при которой поверхности трения полностью разделены слоем смазочного материала.

4 Общие сведения о видах смазочных материалов, их применении в металлургии и физико-химических характеристиках

Первыми смазочными материалами (смазками) были животные жиры и растительные масла. Прогресс в области нефтехимии сделал возможным использование множества минеральных масел, остающихся наиболее распространенными компонентами смазок.

В период перехода от смазки животными жирами к минеральным маслам на российских железных дорогах российский ученый Н.П. Петров заложил основы гидродинамической теории смазки [2]. Отечественные трибологи внесли большой вклад в теорию смазочного действия и в создание и применение всех видов смазочных материалов.

Различают несколько видов смазочных материалов:

- жидкие смазочные материалы;
- смазочные материалы в виде эмульсии;
- пластичные смазочные материалы;
- твердые смазочные материалы;
- газообразные смазочные материалы.

Крупными потребителями смазочных материалов являются предприятия металлургической промышленности, на которых ежегодно расходуется более 300 тысяч тонн смазочных материалов свыше 50 наименований.

Для смазки металлургического оборудования применяют три вида смазочных материалов:

- жидкие (минеральные масла);
- пластичные (густые, консистентные);
- твердые (сухие).

Границы применения различных смазочных материалов определяются их основными свойствами и конкретными условиями эксплуатации. Жидкие смазочные материалы, как правило, используют в узлах жидкостного или полужидкостного трения при условии их надежного уплотнения, позволяющего избежать утечек масла; в подшипниках жидкостного гидродинамического трения и т.п. Пластичные смазочные материалы применяют в тех узлах трения, в которых трудно обеспечить надежное уплотнение; в тяжело нагруженных подшипниках качения и скольжения, работающих при низких окружных скоростях с частыми реверсами и в повторно-кратковременном режиме; для защиты поверхностей трения от попадания на них влаги, пыли и т.п. Твердые смазочные материалы применяют при высоких температурах, в условиях вакуума и агрессивных сред, то есть там, где использование минеральных масел и пластичных смазок нежелательно или невозможно.

Целый ряд твердых тел также обладают смазывающими свойствами: полимеры, графит, дисульфид молибдена - наиболее известные из них. Даже пленка мягкого металла, такого, как золото, свинец или олово, может служить смазкой при определенных условиях. Более того, развитие современной техники привело к появлению газовых подшипников, в которых в качестве смазки можно использовать любой неагрессивный и химически стабильный газ [3].

Физико-химические характеристики смазочных материалов – регламентированные стандартами показатели для оценки качества:

- плотность номинальная (при заданной температуре);
- вязкость номинальная (определяется обычно при температуре 50 или 100°С);
- температура вспышки – наименьшая температура вспышки паров нагреваемого смазочного материала при приближении пламени в условиях обычного давления;
- температура застывания – наивысшая температура, при которой масло теряет текучесть по определенному допуску (масло после наклона стандартной пробирки под углом 45° остается неподвижным в течение одной минуты);
- кислотное число (КОН) – число миллиграммов едкого калия, требующегося для нейтрализации 1 г смазочного материала;
- коксуемость – отношение (в процентах) массы кокса к навеске испытуемого смазочного материала;
- зольность – наличие в смазочных материалах несгораемых веществ
- содержание механических примесей;
- содержание воды;
- содержание водорастворимых кислот и щелочей;
- коррозионное воздействие на железные и медные пластики;
- содержание серы;
- содержание растворителей (фенола, крезола, нитробензола, фурфурола), применяемых при селективной очистке смазочных материалов.

Кроме вязкости, все показатели или косвенно и ограниченно характеризуют поведение смазочных материалов в эксплуатации, или служат для контроля качества смазочных материалов при производстве, транспортировании и хранении.

Вязкость – свойство смазочного материала оказывать сопротивление относительному перемещению его слоев под действием приложенной силы. Вязкость характеризует внутреннее трение смазочного материала и является одной из важнейших функциональных и эксплуатационных характеристик, так как от ее величины, в первую очередь, зависят потери на трение, перемешивание, разбрызгивание. Вязкость служит главным критерием пригодности масла для конкретных узлов машин и агрегатов. В зависимости от вязкости масла делят на

легкие, средние и тяжелые. Различают вязкость динамическую (абсолютную) η , Па·с, кинематическую ν , м²/с и условную (относительную).

Динамическая вязкость η численно равна силе F , которая необходима для перемещения слоя масла площадью $A = 1 \text{ м}^2$ со скоростью $V = 1 \text{ м/с}$ относительно другого слоя, расположенного на расстоянии $H = 1 \text{ м}$ от первого.

Кинематическая вязкость ν равна отношению динамической вязкости к плотности масла ρ при данной температуре:

$$\nu = \eta / \rho, \quad (1)$$

где ρ – плотность минерального масла, кг/м³.

Условная (относительная) вязкость ВУ – отношение времени вытекания 200 мл масла через стандартный капилляр при температуре испытания, равной 50°С или 100°С, ко времени вытекания такого же объема воды при 20°С. Условная вязкость определяется по ГОСТ 6258-85 с помощью вискозиметра типа ВУ и измеряется в градусах ВУ₅₀ или ВУ₁₀₀. Переход от градусов ВУ к кинематической вязкости ν можно осуществлять с помощью эмпирической формулы:

$$\nu = 730\text{ВУ} - (630/\text{ВУ}), \quad (2)$$

где ВУ – условная вязкость, градус ВУ.

Для наиболее распространенных марок масел динамическую вязкость η можно оценить по величине условной вязкости ВУ с помощью следующего приближенного соотношения:

$$\eta = 0,00065\text{ВУ}, \quad (3)$$

где ВУ – условная вязкость, градус ВУ.

Вязкость масла зависит от различных факторов и в первую очередь от температуры, причем с повышением температуры вязкость уменьшается. Минеральные масла выбирают по вязкости для некоторой средней рабочей температуры, для чего используют стандартные значения вязкости при 50°С (для легких и средних масел) или 100°С (для тяжелых масел).

Пересчет вязкости на требуемую температуру осуществляют по специальным формулам, номограммам или таблицам. На практике обычно используется следующая приближенная зависимость кинематической вязкости от температуры:

$$\nu = \nu_0 (T/T_0)^m, \quad (4)$$

где v – значения кинематической вязкости соответственно при рабочей температуре T , $\text{м}^2/\text{с}$;

v_0 – значения кинематической вязкости соответственно при температуре испытаний, $\text{м}^2/\text{с}$;

m – эмпирический коэффициент, зависящий от вязкости масла, $m=2\dots 12$.

Температурный коэффициент вязкости ТКВ определяется как соотношение изменения кинематической вязкости при нагреве масла от 0°C до 100°C к кинематической вязкости при 50°C (рисунок 1):

$$\text{ТКВ} = (v_0 - v_{100})/v_{50}, \quad (5)$$

где v_0 – значения кинематической вязкости при температуре 0°C , $\text{м}^2/\text{с}$;

v_{100} – значения кинематической вязкости при температуре 100°C , $\text{м}^2/\text{с}$;

v_{50} – значения кинематической вязкости при температуре 50°C , $\text{м}^2/\text{с}$.

Чем меньше величина температурного коэффициента вязкости, тем слабее зависимость вязкости от температуры, следовательно, тем выше эксплуатационные качества масла.

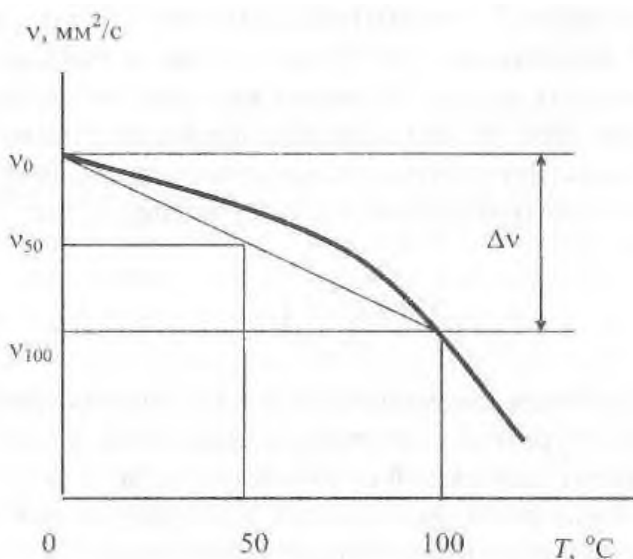


Рисунок 1 – Диаграмма к определению температурного коэффициента вязкости ТКВ [4]

Индекс вязкости ИВ является сравнительным показателем и характеризует различие степени уменьшения вязкости данного масла при повышении температуры по сравнению со степенью уменьшения вязкости эталонного масла. В качестве эталонного масла используют наилучшее масло, у которого изменение вязкости в зависимости от изменения температуры минимально; для эталонного масла принят $\text{ИВ} = 100$. Наихудшему маслу присвоен индекс $\text{ИВ} = 0$.

На рисунке 2 показаны диаграмма зависимости условной вязкости, измеряемой в секундах Сейболта-Универсал (SU), эталонного (ИВ = 100) и наихудшего (ИВ = 0) от температуры, измеряемой в градусах Фаренгейта (°F). Вязкости эталонного и наихудшего масел одинаковы при температуре $t = 210^{\circ}\text{F} = 99^{\circ}\text{C}$. Индекс вязкости для любого сравниваемого масла (штриховая линия на рисунке 2) определяют по следующей формуле:

$$\text{ИВ} = (L-U) \cdot 100 / (L-H), \quad (6)$$

где L – условная вязкость эталонного масла при температуре $t = 100^{\circ}\text{F} \approx 38^{\circ}\text{C}$;

H – условная вязкость наихудшего масла при температуре $t = 100^{\circ}\text{F} \approx 38^{\circ}\text{C}$;

U – условная вязкость сравниваемого масла при температуре $t = 100^{\circ}\text{F} \approx 38^{\circ}\text{C}$.

Чем выше значения индекса вязкости, тем меньше влияние температуры на вязкость масла; для металлургического оборудования обычно принимают, что масло имеет удовлетворительную вязкостно-температурную характеристику, если $\text{ИВ} \geq 85$.

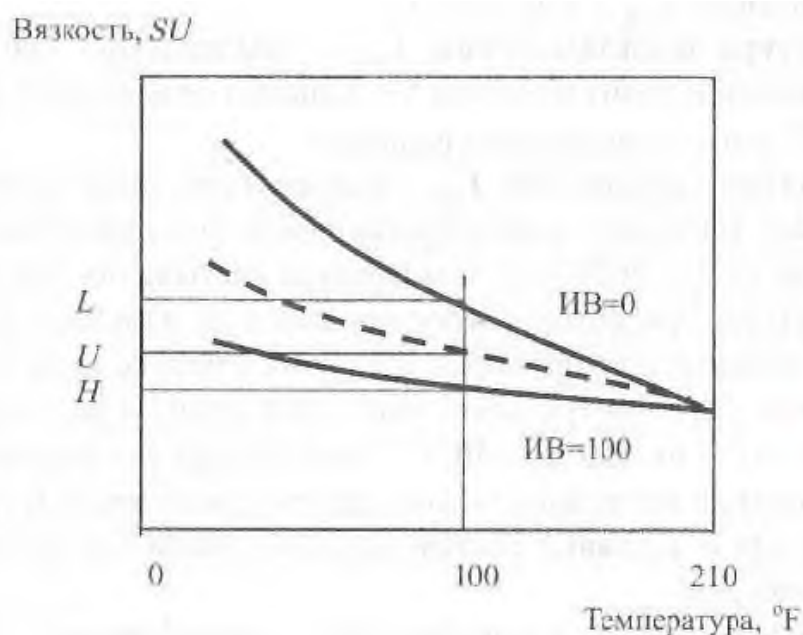


Рисунок 2 – Диаграмма к определению индекса вязкости масла [4]

Уменьшение плотности сопровождается понижением вязкости и температуры вспышки.

Температура вспышки – температура, при которой мгновенно вспыхивают накопившиеся газообразные углеводороды при приближении открытого пламени. Она служит показателем испаряемости и огнеопасности смазочных материалов. Чем выше температура вспышки, тем более стабильно минеральное масло.

Температуру вспышки необходимо учитывать при возможном контакте смазочных материалов с горячим паром, газом, металлом. Она должна быть выше температуры смазываемой поверхности.

Температурой застывания условно считается температура, при которой масло, помещенное в пробирку, не меняет положение мениска (на глаз) при повороте пробирки из вертикального положения в наклонное под углом 45° . Температура застывания не характеризует полной потери подвижности смазочных материалов, так как текучесть сохраняется до температуры, которая на $15-20^\circ\text{C}$ ниже температуры застывания. По этой температуре можно косвенно судить о смачиваемости смазочными материалами поверхности трения.

Кислотное число КЧ - количество миллиграммов едкого калия (KOH), которое требуется для нейтрализации свободных органических кислот (которые являются продуктами окисления углеводородов кислородом воздуха), содержащихся в 1 г масла (ГОСТ 5985-79). Для свежего минерального масла $\text{КЧ}=0,05\dots 0,35$; при значительном окислении масла оно может возрасти до 15. Предельной нормой для замены масел, работающих при температурах $35\dots 100^\circ\text{C}$, обычно принимают $\text{КЧ}=3$. Кислотное число является показателем необратимых изменений свойств масла в результате его окисления, т.е. старения масла. Интенсивность старения во многом определяет срок службы масла – чем меньше стабильность масла, тем чаще производится его замена.

Наличие водорастворимых кислот и щелочей в смазочных материалах (щелочь в смазочных материалах может оказаться после очистки, а органические кислоты, например, уксусная и муравьиная, могут попасть в смазочные материалы двигателей внутреннего сгорания) не допускается вследствие их разъедающего действия на металлы. Водорастворимой кислотой в смазочном материале может быть серная кислота как остаток после кислотной очистки. При отсутствии водорастворимых кислот кислотность смазочных материалов обусловлена нафтеновыми кислотами, и кислотное число в этом случае характеризует содержание в смазочных материалах именно этих кислот.

Коксуемость как показатель качества смазочного материала определяет степень его очистки и склонность к образованию отложений.

Анилиновая точка – температура, при которой равные объемы минерального масла и анилина разделяются на две фазы. Чем выше температура разделения смеси, тем больше в масле ароматических соединений, тем ниже индекс вязкости ИВ.

Противозадирные свойства характеризуются *индексом задира* I_3 и *нагрузкой заедания* $R_{кр}$.

Температура вспышки $T_{всп}$ – температура, при которой пары масла обра-

зуют с окружающим воздухом горючую смесь, которая загорается при поднесении к ней пламени (ГОСТ 4333-87, ГОСТ 6356-75). Это свойство масел, связанное с явлением испарения и пожароопасностью, особенно важно при выборе смазки для металлургического оборудования, работающего с раскаленным и расплавленным металлом. Для большинства минеральных масел температура вспышки лежит в диапазоне $T_{всп} = 170-300^{\circ}\text{C}$.

Температура воспламенения $T_{вос}$ – температура, при которой масло загорается и горит не менее 5 с. Обычно ее величина примерно на $20...30^{\circ}\text{C}$ выше температуры вспышки.

Температура застывания $T_{зас}$ – температура, ниже которой масло утрачивает текучесть и приобретает свойство пластической массы. Согласно ГОСТ 20287-74 температура застывания определяется как температура, при которой уровень масла не изменяет своего положения в стандартной пробирке при изменении ее угла наклона в течение 1 мин. Для минеральных масел она лежит в пределах от -60° до $+40^{\circ}\text{C}$. Температура застывания учитывается при оценке возможности свободного слива масла из емкостей в зимнее время и заправки систем жидкой смазки без их предварительного подогрева.

Стабильность масла характеризуется способностью сохранять свои свойства в процессе эксплуатации и хранения.

Предел прочности на сдвиг $\tau_{сдв}$ – минимальное напряжение сдвига, при котором разрушается структурный каркас, образованный загустителем, и происходит переход к вязкому течению смазочного материала. Единица измерения - паскаль (Па); для наиболее распространенных пластичных смазочных материалов $\tau_{сдв} = 0,1...0,3$ МПа. Методика измерения $\tau_{сдв}$ с помощью прочномера или пластомера приведена в ГОСТ 7143-73. Предел прочности на сдвиг характеризует способность смазочного материала сопротивляться выдавливанию из негерметизированных узлов трения, а также удерживаться на вертикальных и наклонных поверхностях (в том числе при динамических и ударных нагрузках).

Вязкость μ – свойство пластичного смазочного материала оказывать сопротивление относительному перемещению его слоев под действием приложенной силы. Единица измерения – паскаль-секунда (Па·с). Методика измерения вязкости на автоматических капиллярных вискозиметрах типа АКВ-2 или АКВ-4 регламентирована ГОСТ 7163-63. Вязкость характеризует возможность подачи пластичного смазочного материала по трубопроводам к узлам трения и его антифрикционные свойства, особенно при низкой температуре. От вязкости зависит величина потерь мощности в узлах трения – чем выше вязкость, тем труднее прокачать смазочный материал через трубопроводы, больше потери на трение и труднее произвести запуск машин и механизмов.

Вязкость, определенная при заданных значениях скорости деформирования

и температуры, называется *эффективной вязкостью*. При ручной подаче смазочного материала его вязкость не должна превышать $\mu = 500 \dots 1000 \text{ Па}\cdot\text{с}$. В случае использования смазочного материала при минимальной температуре его применения эффективная вязкость, измеренная при скорости деформирования 10 с^{-1} , не должна превышать $\mu = 1500 \dots 2000 \text{ Па}\cdot\text{с}$.

Пенетрация – косвенный (условный) показатель вязкости пластичного смазочного материала, который оценивается глубиной проникновения, измеряемой в десятых долях миллиметра, в испытываемый материал специального конуса массой 150 г за 5 с при температуре 25°C . Испытания проводят на специальном приборе – пенетрометре – в соответствии с ГОСТ 5346-78. Чем больше число пенетрации, тем меньше консистенция смазки. С повышением температуры плотность пластичных смазок уменьшается.

Механическая стабильность характеризует способность пластичного смазочного материала сохранять объемно-механические свойства, которые обычно оценивают пределом прочности на разрыв, после «деформации» (после прокачивания по трубопроводам к узлам трения) и последующего «отдыха» (восстановления свойств недеформированного состояния). Свойство восстановления и даже увеличения прочности пластичного смазочного материала после прекращения деформации и отдыха называется *тиксотропией*. Испытания на механическую стабильность проводятся по ГОСТ 19296-73 на специальном приборе – тиксометре. Большое тиксотропное упрочнение пластичного смазочного материала нежелательно.

Термоупрочнение – повышение предела прочности пластичного смазочного материала после его нагрева ниже температуры плавления. Его величину определяют с помощью прочномера типа СК по ГОСТ 7143-73. Следует отметить, что значительное термоупрочнение (более $0,01 \dots 0,02 \text{ МПа}$) приводит к снижению прокачиваемости пластичного смазочного материала через трубопроводы.

Коллоидная стабильность характеризует способность пластичного смазочного материала удерживать в своей структуре жидкое масло и, следовательно, его долговечность при работе и хранении. Ее оценивают по ГОСТ 7142-74 по количеству отпрессованного из пластичного материала масла с помощью прибора КСА.

Температура каплепадения $T_{\text{кап}}$ – температура, при которой падает первая капля пластичного смазочного материала из термометра Уббелюде при проведении испытаний по ГОСТ 6793-74. Она характеризует верхний температурный предел применения пластичного смазочного материала. Для кальциевых, натриевых и углеводородных смазочных материалов рабочая температура должна быть ниже температуры каплепадения $T_{\text{кап}}$ на $15 \dots 20^\circ\text{C}$; для смазочных материалов (литиевых, бариевых и др.) с тугоплавкими загустителями – на $70 \dots 80^\circ\text{C}$.

Кроме перечисленных выше, в нормативно-технической документации используются и другие показатели, такие как, например, *химическая стабильность*, которая характеризует способность пластичного смазочного материала к окислению на воздухе в тонком слое при нагревании до 120°С в течение 10 ч (ГОСТ 5734-76); *коррозионная активность*, оцениваемая по результатам испытаний на коррозию металлической пластины при 70...100°С в течение 5...3 ч (ГОСТ 9.080-77); *испаряемость масла* из пластичного смазочного материала, определяемая по изменению массы проб материала (ГОСТ 9566-74); *цвет; внешний вид* и др.

Наличие в смазке большого количества свободной воды вызывает коррозию поверхностей трения; при замерзании вода ухудшает прокачиваемость смазки по трубопроводам. Максимальное количество воды в кальциевых смазках не должно превышать 4%, в натриевых – 0,5%; в защитных смазках наличие воды не допускается.

5 Жидкие смазочные материалы

По происхождению жидкие смазочные материалы разделяют на минеральные (нефтяные и сланцевые), жировые (растительные и животные) и синтетические.

Для смазывания узлов трения механизмов металлургических машин наибольшее применение нашли минеральные смазочные материалы, полученные из нефти. Одним из первых в мире ученых, оценивших перспективность применения нефти в качестве химического сырья для производства смазочных материалов и предложивших в 1867 г. получать минеральные масла из мазута, который до этого использовался только как топливо, был великий русский химик Д.И. Менделеев.

Минеральные масла представляют собой сложную смесь углеводородов (парафиновых, нафтеновых, ароматических). В них присутствуют сернистые соединения, смолы, нафтеновые кислоты. Главными достоинствами минеральных масел являются: относительно невысокая стоимость, незначительное внутренне трение, возможность осуществления непрерывной циркуляции в системе смазки и восстановления путем регенерации. Чистые нефтяные масла работоспособны в диапазоне температур $-40^{\circ}\text{C} \dots +50^{\circ}\text{C}$. Эксплуатационные характеристики масел улучшают путем введения в небольших количествах (до 10%) различных присадок.

В соответствии со стандартом ГОСТ 17479-87 «Смазочные материалы промышленные» и рекомендации международного стандарта ИСО 3448-75 в обозначение промышленных масел входят четыре символа, отражающих назначение, область применения, эксплуатационные свойства, класс вязкости. Структура обозначения промышленных масел представлена на рисунке 3.

Понятие «промышленных масел» было введено в соответствующих стандартах (ГОСТ, ISO) для обособления данной группы масел от автомобильных и прочих транспортных масел (моторных, трансмиссионных, авиационных) и гидравлических жидкостей.

По вязкости промышленные масла подразделяются на 18 классов с кинематической вязкостью ν_{40} (при температуре 40°C), равной 2, 3, 5, 7, 10, 15, 22, 32, 46, 68, 100, 150, 220, 320, 460, 680, 1000, 1500 $\text{мм}^2/\text{с}$.

Порядок символов. Характеристика символов

[1-2-3-4]

			значение вязкости в $\text{мм}^2/\text{с}$
			2,3,5,7,10,15,22,46,68,100,150,220,460,680,1000,1500
			эксплуатационные свойства
			A - масла без присадок
			B→A+антиокислительные, антикоррозионные присадки
			C→B+противоизносные
			D→C+противозадирные
			E→D+противоскачковые
			область применения
			Л(F)-легконагруженные узлы трения
			Г(H)-для гидравлических систем
			Н(G)-для направляющих скольжения
			Т(C)-тяжелонагруженные узлы трения
			И – индустриальные масла

Рисунок 3 – Структура обозначения индустриальных масел [4]

Область применения индустриальных масел характеризуется русскими (латинскими) буквами:

- Л (F) – легко нагруженные узлы трения;
- Г (H) – для гидравлических систем;
- Н (G) – для направляющих скольжения;
- Т (C) – тяжело нагруженные узлы трения.

Эксплуатационные свойства зависят от наличия в маслах присадок:

- А -масла без присадок;
- В – масла с антиокислительными и антикоррозионными присадками;
- С - масла с антиокислительными, антикоррозионными и противоизносными присадками;
- D - масла с антиокислительными, антикоррозионными, противоизносными и противозадирными присадками;
- Е - масла с антиокислительными, антикоррозионными, противоизносными и противозадирными и противоскачковыми присадками.

Жировые масла имеют лучшие антифрикционные свойства, чем чисто нефтяные масла, но являются менее стабильными в эксплуатации, быстро окисляются (особенно при повышенной температуре). Они работоспособны при температурах от 20 °С до +100°С. В чистом виде жировые масла применяют в основном в процессе холодной прокатки полос, в качестве присадок к нефтяным маслам и при производстве пластичных смазочных материалов.

Синтетические масла, изобретенные после второй мировой войны и представленные почти всеми классами химических соединений, включая сложные эфиры, кремнийорганические и органические вещества, в узлах трения метал-

лургических машин пока не используются вследствие их высокой стоимости, однако они обеспечивают целый ряд свойств, необходимых в новых областях быстро развивающейся современной техники. Они работоспособны при температурах от -60°C до $+400^{\circ}\text{C}$.

Использование жидких смазочных материалов обеспечивает в узлах трения режим жидкостной смазки, интенсивный теплоотвод и фильтрацию продуктов износа. Наиболее важные области применения масел - автомобильный транспорт (двигатели и трансмиссии) и промышленное оборудование (станки, металлообработка). Наиболее важным свойством любого масла является сочетание вязкости и несущей способности при граничной смазке, однако, в зависимости от конкретных применений, нужно рассматривать и многие другие факторы: термическую и химическую стабильность, агрессивность, совместимость с трущимися материалами, теплопроводность, воспламеняемость, токсичность и так далее.

Масла, применяемые для смазки поршневых двигателей внутреннего сгорания, называются *моторными маслами*. Это смазочные материалы, содержащие базовое масло и синтетические *присадки*, улучшающие свойства базового масла или придающие ему требуемые новые свойства. Базовые компоненты моторных масел имеют кинематическую вязкость 3,5-22 сСт при 100°C . Содержание присадок изменяется от нескольких процентов в маслах для легконагруженных узлов до 25-30% в маслах для судовых дизелей, работающих на тяжелых, высокосернистых топливах.

С ростом температуры вязкость масла снижается. Существуют два характерных режима, при которых вязкость масла достигает максимума и минимума. Следовательно, важно знать характер зависимости вязкости от температуры в диапазоне температур, в котором масла подчиняются закону Ньютона. Связь между кинематической вязкостью и температурой масла определяется законом Вальтера:

$$\lg \cdot \lg(v + 0,8) = A - B \cdot \lg T, \quad (7)$$

где v - кинематическая вязкость, сСт;

A и B - константы, зависящие от содержания углеводородов в масле.

Индекс вязкости сезонных масел определяет чистоту базового масла, применяемого для их изготовления. Высокий индекс вязкости всесезонных масел достигается добавлением специальных присадок (например, высокомолекулярных полимеров), увеличивающих вязкость только при высоких температурах.

Имеются различные классификации моторных масел по вязкости. Одной из наиболее употребительных является классификация Американского общества автомобильных инженеров, или система SAE. В этой системе используются значения вязкости при -18°C и 100°C . В таблице 1 приведена классификация моторных и трансмиссионных масел по классификации SAE (литера W - для зимних масел). В системе SAE масла описываются одним из вышеприведенных чисел (сезонные масла, например, SAE 20W или SAE 90). Если масло удовлетворяет требованиям SAE при -18°C и 100°C , оно считается всесезонным (например, SAE 20W-50).

В таблице 2 сопоставляются классы вязкости масел при 40°C по классификациям SAE,AGMA (Американская ассоциация производителей зубчатых передач) и ISO (Международная организация стандартов).

Классификация ISO охватывает наиболее широкий диапазон вязкостей с шагом около 1,5 единиц.

В таблице 3 приведены температуры, при которых моторные масла имеют эквивалентные вязкости по классификации SAE. Рекомендуемый диапазон температур окружающей среды для различных масел приведен на рисунке 2. На рисунке 3 приведен пример использования данных о вязкости масла при конструировании подшипников. На этом рисунке показана корреляция давления, вязкости и скорости, служащая основой для выбора масла в конкретном подшипнике.

Таблица 1 – Классификация масел по системе SAE [2]

Номер по SAE	Вязкость при -18°C , сантипуаз		Вязкость при 100°C , сСт	
	Максимальная		Минимальная	Максимальная
Моторные масла				
5W	1250		3,8	-
10W	2500		4,1	-
20W	10000		5,6	-
20			5,6	Менее 9,3
30			9,3	Менее 12,5
40			12,5	Менее 16,3
50			16,3	Менее 21,9
Трансмиссионные масла				
75	3250			Менее 25
80	21600			Менее 43
90			14	
140			25	
250			43	

Таблица 2 - Сравнение классификаций по вязкости [2]

Марка вязкости по ISO, мм ² /с	Число AGMA	Приблизительный эквивалент по SAE	
		Моторное масло	Трансмиссионное масло
22		5	
32		10W	75W
46	1	15W	
68	2	5W-30, 20-20W	80W
100	3	10W-40, 30	85W
150	4	20W-50, 40	80W-90
220	5	50	90
320	6	60	
460	7		140
680	8		
1000	8A		250

Таблица 3 - Температуры, при которых масла имеют эквивалентные вязкости [2]

Класс вязкости по SAE 3300	SAE 10W	SAE 20W	SAE 30	SAE 40	SAE 50
Минимальная температура холодного пуска, °C	-23	-18	-10	0	+5
Максимальная температура масла в картере, °C	90	110	135	150	160

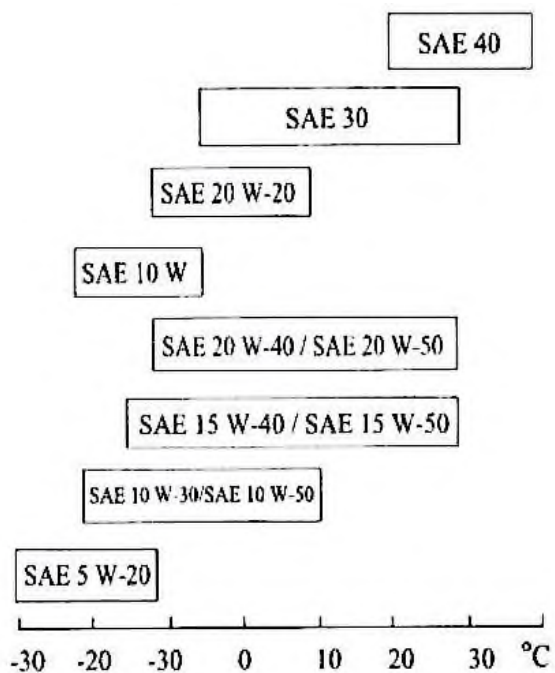


Рисунок 4 - Рекомендуемые температуры окружающей среды для масел по классификации SAE [2]

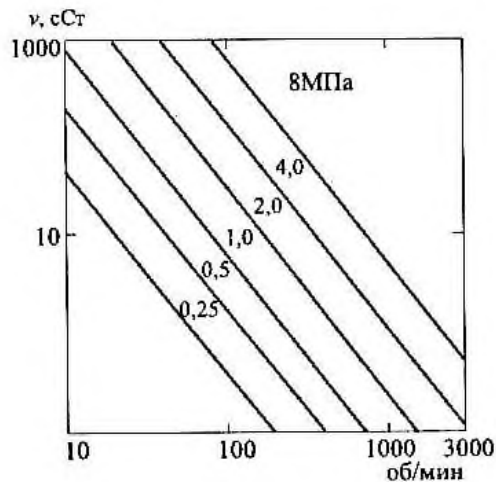


Рисунок 5 - Выбор вязкости для подшипников скольжения [2]

Основные свойства моторных масел, определяющие их пригодность для использования в двигателях различных типов и с различной степенью форсирования, включают:

- антинагарные свойства (способность предотвращать образование нагара на нагретых поверхностях и коксование поршневых колец);
- способность снижать износ;
- диспергирующие свойства (способность предотвращать образование низкотемпературных осадков в картере, маслопроводе, масляном фильтре и других частях двигателя при его работе с малой нагрузкой);
- антикоррозионные свойства (способность предотвращать коррозию вкладышей подшипников коленчатого вала);
- антиокислительные свойства (стойкость к окислению при высоких температурах);
- нейтрализационные свойства (способность нейтрализовывать кислоты, образующиеся при окислении масла или конденсирующиеся из конечных продуктов сгорания топлива).

Промышленные сорта моторных масел с требуемыми свойствами получают изменением химического состава масел и добавлением к ним присадок.

Трансмиссионные масла применяются для смазывания механических и гидромеханических трансмиссий наземных транспортных средств. Характерные формы повреждения зубчатых колес и подшипников трансмиссий - выкрашивание рабочих поверхностей (питтинг), а при высоких контактных температурах - еще и задир.

Одним из эффективных способов борьбы с задиром является применение присадок для сверхвысоких давлений. Усталостную долговечность поверхностей

зубьев в трансмиссиях можно увеличить, применяя масла с более высокой вязкостью.

При выборе масла по вязкости следует учитывать, что вязкость и поведение масла при низких температурах определяют возможность начала работы транспортного средства при низкой температуре без подогрева трансмиссии. Они также определяют расход топлива и легкость слива масла.

Требуемые вязкость и низкотемпературные свойства масла обуславливаются температурным режимом работы и хранения транспортного средства, конструктивными особенностями трансмиссии и отношением мощности двигателя к массе транспортного средства. Важно, чтобы кривая вязкость - температура для трансмиссионных масел, применяемых в широком температурном диапазоне, была плавной.

Одной из особенностей трансмиссий транспортных средств, особенно автомобилей, является высокое контактное давление на зубьях шестерен (до 3000 МПа) и изменяющиеся условия работы. Согласно экспериментальным данным, температура подшипников гипоидной главной передачи автомобиля может достигать 200°C, а объемная температура масла - 150°C. Температура в контакте зубьев может достигать значений, приведенных в таблице 4.

Таблица 4 – Контактные температуры на зубьях шестерен автомобилей и тракторов [2]

Машина, механизм	Передача	Контактная нагрузка, МПа	Относительная скорость скольжения профилей в расчетной точке, см/с	Температура контакта, °С
Пятитонный грузовой автомобиль	Первая	1610	25,4	110
Большегрузный автомобиль	Первая	1260	136	275
Планетарный редуктор гидромеханической передачи	Наиболее нагруженная пара Раздаточная коробка	1490	136	115
		2130	583	330
Трактор колесный	Бортовая Седьмая	870	42,5	130
		630	256,0	68
Трактор гусеничный	Бортовая	700	50,2	60

Выбор трансмиссионного масла определяется, в первую очередь, зависимостью вязкости от температуры. Простым руководством в этом случае может быть рисунок 6, при построении которого использованы данные таблицы 4.

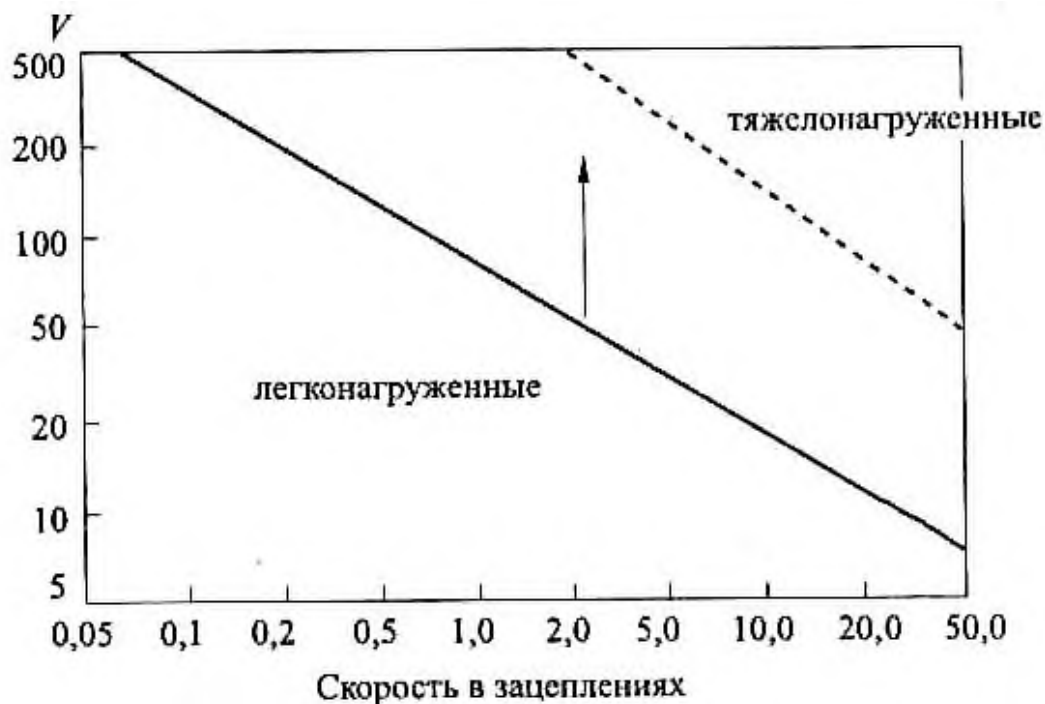


Рисунок 6 – Выбор трансмиссионных масел по вязкостно-скоростному соотношению [2]

Резкие изменения скорости автомобиля нежелательны для соблюдения условий гидродинамической смазки сопрягаемых шестерен трансмиссий. Износ, а иногда и задиры зубьев зубчатых трансмиссий при использовании обычных масел свидетельствуют о том, что режимы гидродинамической и контактно-гидродинамической смазки не обеспечиваются для таких трансмиссий. Значительного увеличения долговечности по износу зубчатых колес можно добиться, применяя антиизносные присадки и присадки для сверхвысоких давлений.

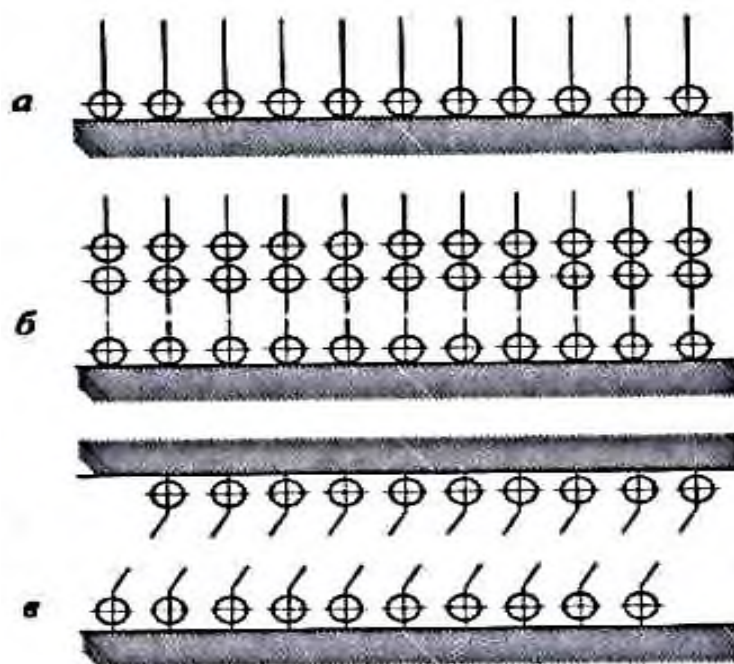
6 Присадки

Синтез присадок дает возможность значительно улучшить эффективность базовых масел, поэтому конструктор может подобрать смазку, удовлетворяющую самым жестким требованиям в данной трибологической системе.

Присадки к смазкам можно разделить на химически активные и неактивные. Первые способны химически взаимодействовать с металлами с образованием защитной пленки. Эти присадки разделяются на диспергирующие, моющие, противоизносные, присадки для сверхвысоких давлений, ингибиторы окисления и коррозии. Химически неактивные присадки улучшают физические свойства смазок. Они включают эмульгаторы, антиэмульгаторы, депрессанты, антивспениватели и улучшатели вязкости. При выборе присадок цель заключается не в максимальном улучшении одного из свойств масла, а в получении набора оптимальных свойств. Современные масла должны выполнять много функций, поэтому они обычно содержат многокомпонентные присадки.

Большинство присадок содержат гидрофобные углеводородные группы и поверхностно-активные группы, включающие кислород, азот, серу или фосфор. Углеводородные группы придают присадке необходимую растворимость в базовом масле, улучшая таким образом его объемные свойства. Поверхностно-активные группы обеспечивают взаимодействие с поверхностью, воздействуя таким образом на поверхность контакта трущихся тел (рисунок 5).

Диспергирующие присадки служат для образования суспензии нерастворимых в масле смолистых продуктов окисления в объеме масла. Их молекулы содержат гидрофобный углеводородный радикал длиной 70-200 атомов углерода и кислород или азотсодержащую полярную группу. К химическим соединениям, применяемым в качестве диспергирующих присадок, относятся алкенилсукцинимиды, сукцинаты сложных эфиров и амины с высокой молекулярной массой. Наиболее широко используемые промышленные дисперсанты - это производные полибутенилсукциновой кислоты. Более трех четвертей всего объема выпускаемых дисперсантов применяется в маслах для карбюраторных и тяжелонагруженных дизельных двигателей.



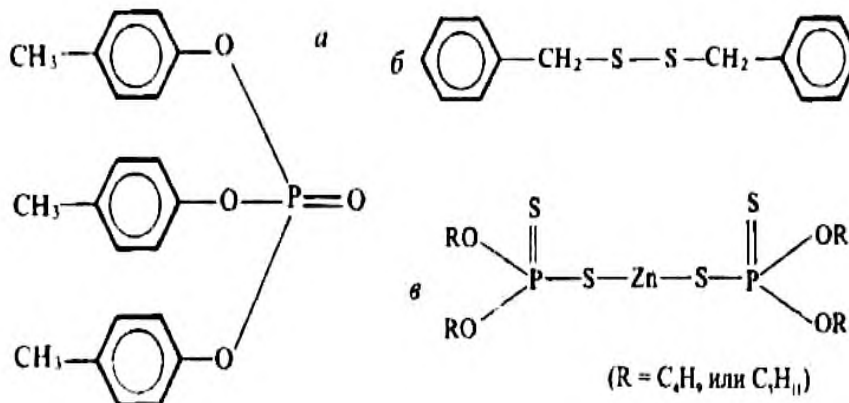
- а) монослой с активными группами; б) полимолекулярные слои;
в) скольжение между монослоями

Рисунок 7 – Молекулярный слой с поверхностно-активными группами [2]

Моющие присадки применяются с той же целью, что и дисперсанты, но, кроме этого они нейтрализуют кислотные продукты сгорания и окисления. Как правило, это металлические соли органических кислот. Их поверхностно-активные группы состоят из сульфонатов металлов, фенатов, карбоксилатов, салицилатов и фосфонатов. Сульфонаты, салицилаты и карбоксилаты применяются в промышленности в виде солей кальция и магния. Фенатовые моющие присадки применяют в виде солей кальция. Кальциевые сульфонаты составляют около двух третей рынка моющих присадок, а фенаты - около 30%. Моющие присадки преимущественно используются в маслах для карбюраторных и дизельных двигателей, потребляющих 75% всего выпускаемого объема этих присадок.

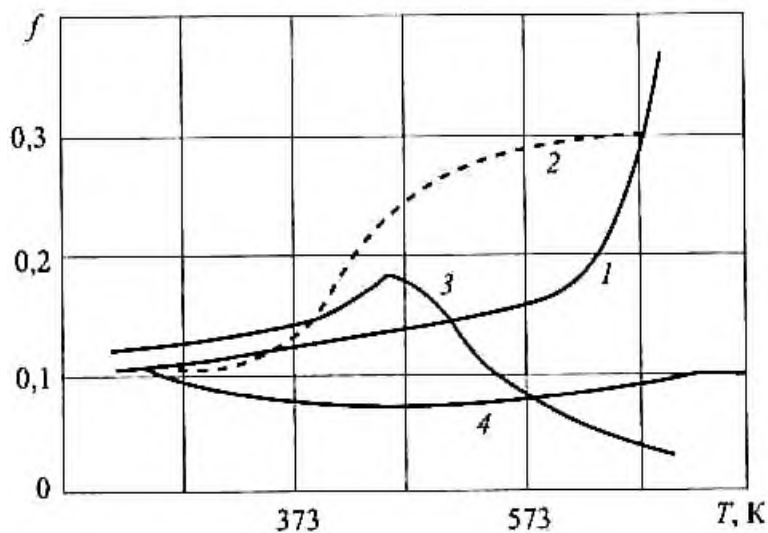
Противоизносные присадки и присадки для сверхвысоких давлений обеспечивают защиту трущихся поверхностей в условиях граничной смазки, возникающих при росте нагрузки или снижении скорости скольжения и создающих условия для контакта металл - металл и подъема температуры. Противоизносные присадки обычно действуют в условиях умеренного износа, а присадки для сверхвысоких давлений - в более тяжелых условиях. Присадки для сверхвысоких давлений требуют более высоких температур активации и применяются при высоких нагрузках. Противоизносные присадки обычно используются в моторных маслах, жидкостях для автоматических трансмиссий, рулевого управления и гидравлических жидкостях для тракторов.

Присадки для сверхвысоких давлений применяют в трансмиссионных маслах, жидкостях для амортизаторов и технологических жидкостях для металлообработки. Оба вида присадок содержат серу, хлор, фосфор, бор или их сочетания (рисунок 8).



а) трикрезинфосфат; б) дибензиндисульфид; в) цинкдиалкилдиднофосфат
 Рисунок 8 – Структура трех антизадирных/антиизносных присадок [2]:

При увеличении контактной температуры они реагируют с поверхностью металла, обеспечивая формирование твердой защитной пленки и снижая коэффициент трения в контакте (рисунок 9).



1 - чистое масло, 2 - масло + присадка с 0,9% S;

3 - масло + присадка с 2,5% Cl; 4 - масло + присадка с 0,1 % P

Рисунок 9 - Коэффициент трения в зависимости от температуры при испытаниях вазелинового масла в атмосфере аргона на машине палец-диск: ($V = 2,6$ м/с, $P = 5$ Н) [2]

Наиболее часто применяют противоизносные присадки на основе цинксо-держающих солей дитиофосфорной кислоты. Обычно они разлагаются при температуре ниже 200°C. Некоторые из этих присадок (противозадирные) действуют независимо от температуры, образуя защитный слой при осаждении (например, дисульфид молибдена и графит).

Основа присадок для сверхвысоких давлений - обычно алкил и арилдисульфиды, дитиокарбаматы, хлорсодержащие углеводороды, диалкилводородные фосфиты и подобные вещества. Они разлагаются при температурах выше 200°C.

Модификаторы трения отличаются от противоизносных присадок и присадок для сверхвысоких давлений механизмом образования защитной пленки. Они содержат длинноцепные молекулы с полярными концевыми группами, обеспечивающими физическую адсорбцию на металлах. Наиболее распространенными присадками такого типа являются производные жирных кислот.

Антиоксиданты вводятся в масло с целью предотвращения его окисления. Они используются практически во всех смазках, половину из которых составляют моторные масла для карбюраторных и дизельных двигателей. Наиболее распространенными антиоксидантами являются диалкилдитиофосфат цинка, ароматические амины, серосодержащие олефины и фенолы.

Ингибиторы коррозии предотвращают повреждение поверхностей металлов вследствие воздействия атмосферного кислорода и кислотных продуктов. Некоторые из этих ингибиторов нейтрализуют кислоты, другие - образуют защитные пленки на металлических поверхностях благодаря физической адсорбции или химическим реакциям. Наиболее распространенными присадками такого типа являются длинноцепные амины, основные сульфонаты, производные карбоксильной кислоты, производные тиadiaзола и триазола. Они применяются в моторных и трансмиссионных маслах, технологических жидкостях для металлообработки и в пластичных смазках.

Эмульгаторы позволяют двум несмешивающимся жидкостям образовывать однородную смесь (эмульсию). Это важно для смазок, применяемых в некоторых отраслях. Например, вода и масло используются в металлообработке и гидравлических системах. Эмульгаторы обеспечивают необходимую стабильность эмульсий.

Деэмульгаторы оказывают противоположное действие, подавляя образование эмульсий, например, в гидравлических жидкостях. Эмульгаторы и деэмульгаторы обладают поверхностно-активными свойствами и обычно содержат углеводородную цепь и присоединенные к ней полярные группы. В качестве эмульгаторов часто применяют производные оксида полиэтилена и соли карбоновой и сульфоновой кислот. Деэмульгаторы включают сочетание блок-сополимеров ок-

сида пропилена или этилена с глицерином, фенолформальдегидными смолами, силиксанами, полиаминами и полиолами.

Депрессанты - это присадки, снижающие температуру застывания смазки, что очень важно для применения ее при низких температурах. Значение температуры застывания связано с содержанием воска в масле. При низкой температуре воск выделяется в виде кристаллов, препятствующих течению масла. Депрессанты способны подавлять рост кристаллов воска, поддерживая таким образом течение масла. Типичные присадки такого типа - органические полимеры типа алкильных ароматических соединений, сложных эфиров стирола, полиметакрилатов и других смешанных углеводородных полимеров. Они применяются практически во всех типах масел, применяемых в машинах, работающих при низких температурах.

Антивспениватели предотвращают пенообразование, изменяя поверхностное натяжение и облегчая отделение пузырьков воздуха из масла. Эта группа присадок представлена силиконами и полиакрилатами.

Вязкостные присадки важны для улучшения эффективности смазывания при высокой температуре, когда вязкость масла сильно снижается. Как правило, это органические полимеры, улучшающие смазочные характеристики маловязких масел при высокой температуре, сводя к минимуму изменение вязкости с температурой. Примером распространенных присадок такого типа могут служить сополимеры олефинов, полиметакрилаты и другие полимеры. Их действие основано на свойстве полимерных цепей увеличивать объем при повышении температуры, повышая таким образом вязкость масла (рисунок 10).

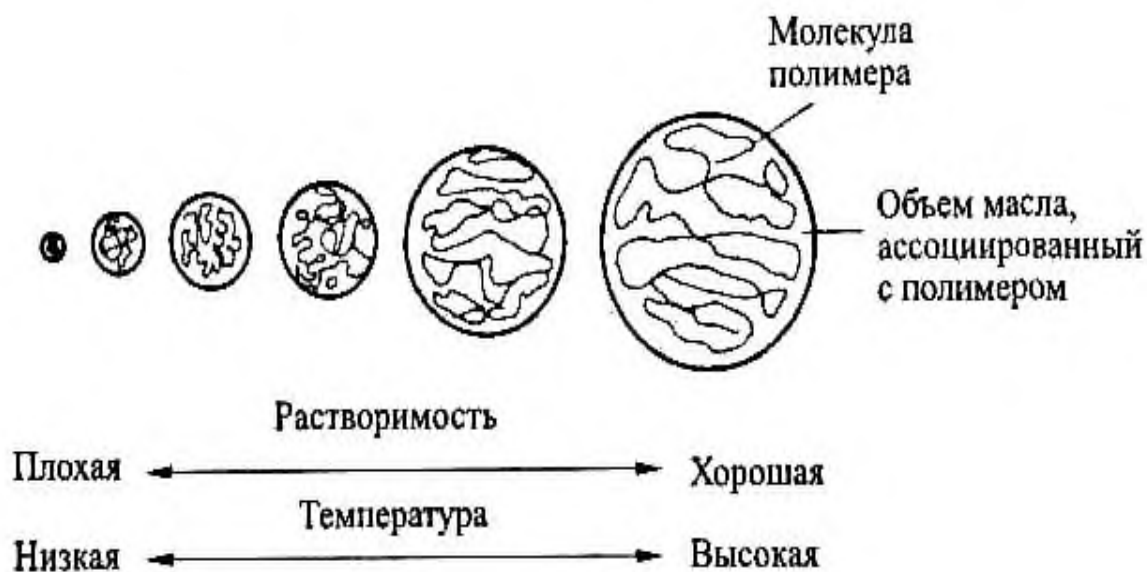


Рисунок 10 - Добавки, повышающие вязкость, и механизм загущения [2]

Существуют и другие типы присадок для специальных целей. Это присадки, предотвращающие набухание и повреждение полимерных или резиновых уплотнений, *биоциды* (контролируют размножение бактерий в маслах), *совместители* (стабилизируют микроэмульсии) и *красители* (обеспечивают стандартный цвет).

Современные масла и пластичные смазки обычно содержат целый набор присадок. Эти присадки являются реакционноспособными веществами и поэтому могут взаимодействовать друг с другом.

Задача инженера-смазчика состоит в сведении к минимуму отрицательного эффекта этого взаимодействия и в извлечении из него максимальной выгоды. Базовые масла, как правило, выбираются из минеральных масел, синтетического или частично синтетического сырья.

Определенный интерес представляют масла растительного и животного происхождения по причине их биodeградационной природы и экологической безопасности.

В таблице 5 представлен состав присадок к моторным маслам для различных областей применения.

Таблица 5 - Состав присадок для моторных масел [2]

Присадка	Моторные масла для карбюраторных двигателей	Моторные масла для дизельных двигателей	Моторные масла для двигателей на природном газе	Авиационные масла	Моторные масла для двухтактных двигателей
Диспергирующая	х	х	х	х	х
Моющая	х	х	х		х
Противоизносная присадка для сверхвысоких давлений	х	х	х	х	х
Антиоксидант	х	х	х	х	х
Ингибитор коррозии/деактиватор металла	х	х	х	х	х
Модификатор трения	х	х	х	х	х
Депрессант	х	х	х	х	
Антивспениватель	х	х			
Вязкостная	х				х
Другие*					х

*Совместители, красители, разжижители и эмульгаторы

Состав присадок для других масел и пластичных смазок в основном аналогичен, за исключением загустителей и наполнителей, вводимых в пластичные смазки (таблица 6).

Таблица 6 – Состав присадок для прочих масел и пластичных смазок [2]

Присадка	Масла для автоматических трансмиссий	Трансмиссионные масла		Гидравлические жидкости		Жидкости для металлообработки	Пластичные смазки
		автомобильные	промышленные	тракторные	промышленные		
Диспергирующая	х						
Моющая	х			х	х	х	
Противоизносная присадка для сверхвысоких давлений	х	х	х	х	х	х	х
Антиоксидант	х	х	х	х	х	х	х
Ингибитор коррозии/деактиватор металла	х	х	х	х	х	х	х
Модификатор трения	х	х	х	х		х	
Депрессант	х	х	х	х	х		
Антивспениватель	х	х	х	х	х	х	
Вязкостная	х	х	х	х	х		х
Другие*	х			х	х	х	х

*Противозадирные присадки, биоциды, буферные присадки, совместители, красители, эмульгаторы, ингибиторы набухания и модификаторы вязкости.

7 Пластичные смазочные материалы

По своим свойствам *пластичные или консистентные смазки* занимают промежуточное положение между твердыми смазками и маслами. Они обычно состоят из двух компонентов: жидкой основы (минеральные, растительные, синтетические и другие масла) и загустителя (твердые углеводороды, различные соли высокомолекулярных жирных кислот, т. е. мыла, дисперсные силикагели и бентониты, и другие органические и неорганические вещества). Пластичные смазки также содержат присадки, улучшающие их эксплуатационные свойства. В пластичные смазки часто вводят различные наполнители (графит, дисульфид молибдена, порошкообразные металлы и их оксиды, слюда и т. д.).

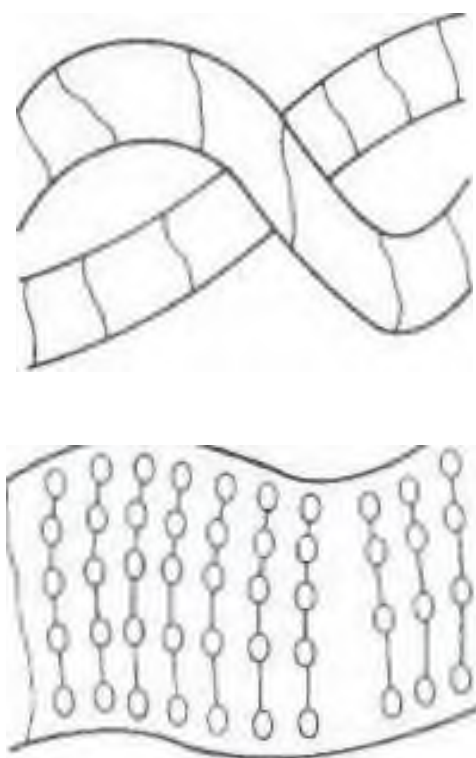


Рисунок 11 - Структура волокна загустителя [2]

В процессе приготовления смазки загустители, в частности мыла, образуют трехмерную волокнистую структуру с ячейками, заполненными маслом (рисунок 11). Благодаря наличию такой структуры пластичные смазки при умеренных нагрузках ведут себя как твердые тела (не текут под действием силы тяжести на наклонной и даже вертикальной поверхности). При нагрузках, превышающих прочность их структуры, пластичные смазки текут, подобно маслам. Однако при снятии нагрузки течение смазки прекращается, и она вновь ведет себя как твердое тело. В этом состоит очень важная особенность пластичных смазок, обеспечивающая их преимущества в сравнении с маслами.

Основные из этих преимуществ - способность удерживаться в неуплотненных трибосопряжениях и работать в более широком диапазоне температур и скоростей, лучшие смазочная способность и антикоррозионные свойства, способность работать в присутствии воды и агрессивных сред и более высокая экономичность.

К недостаткам пластичных смазок можно отнести плохое охлаждающее действие, большую склонность к окислению и необходимость специальных устройств подачи к смазываемому соединению.

Знание свойств и отличительных особенностей пластичных смазок в заданных условиях работы, а также информация об особенностях конструкции подвижного сопряжения позволяют выбрать смазку для конкретного узла.

Пластичные смазочные материалы классифицируют:

- по виду масляной основы (минеральные, синтетические, смешанные);
- по виду наполнителя (графитовые, молибденовые, смешанные);
- по температуре применения (низкоплавкие – температура каплевыделения ниже 65°C; среднеплавкие – температура каплевыделения ниже 65...100°C; высокоплавкие – температура каплевыделения выше 100°C);
- по отношению к воде – водостойкие (гидрофобные) и неводостойкие (гидрофильные);
- по характеру применения – универсальные, специальные.

Пластичные смазочные материалы применяют для смазывания тяжело нагруженных поверхностей трения; для деталей и узлов, работающих при повышенной температуре; в узлах трения с затрудненной или нежелательной частой заменой смазочного материала; в негерметизированных или открытых узлах трения; для защиты узлов и деталей машин от коррозии и попадания загрязнений; в узлах трения, работающих при нагрузках, часто меняющих направление, при толчках и ударах; в резьбовых соединениях; в уплотнительных устройствах и т.п.

Некоторые пластичные смазочные материалы имеют специальные названия, связанные с наименованием предприятия-разработчика (ВНИИНП, ЦИАТИМ), либо аббревиатуру авторов (Униол, Литол и др.).

Для смазки металлургического оборудования широкое применение нашли кальциевые, натриевые, кальциево-натриевые, литиевые пластичные смазочные материалы. Часто используются литиевые смазки общего назначения (ЦИАТИМ-201, ВНИИНП-242 и др.) и многоцелевые (Фиол-1, Литол-24 и др.), так как они обладают высокой термо-, водо- и хладостойкостью.

Кальциевые смазки влагостойки и не образуют эмульсий при смешивании с водой. Их можно применять при температуре от -30 до +50°C. Кальциевые смаз-

ки при расплавлении теряют содержащую в ней воду, при последующем охлаждении их физико-химические свойства не восстанавливаются.

Натриевые смазки чувствительны к влаге; соединяясь с водой, они легко образуют эмульсии и выделяют коррозирующие вещества (кислоты и щелочи). Поэтому их можно применять только тогда, когда полностью исключен контакт с водой. Натриевые смазки можно использовать при температурах в диапазоне 18...400°C. В отличие от кальциевых смазок они обладают способностью восстанавливать свои физико-химические свойства после расплавления.

Кальциево-натриевые смазки по влагостойкости и температурному диапазону занимают промежуточное положение; их применение эффективно при небольшой влажности в интервале температур от 0 до 100°C.

8 Твердые смазочные материалы

Твердые смазки – смазочные материалы, обеспечивающие смазку соприкасающихся поверхностей, работающих в условиях сухого или граничного трения в тех случаях, когда использование пластичного смазочного материала невозможно либо неэффективно. Твердая смазка может не наноситься ни на одну из трущихся деталей (например, порошкообразные твердые смазки) или она может быть наполнителем композиционного материала или покрытия на одной из этих деталей. Кроме того, твердые смазки применяют в виде карандашей, твердых смазочных полимерных пленок, брикетов, паст.

Кристаллическая решетка твердых смазочных материалов имеет слоистую структуру, у которой прочность связей между атомами неодинакова в различных направлениях, причем прочность атомарных связей между параллельными плоскостями решетки существенно ниже, чем прочность связей в перпендикулярном направлении. Высокая термостойкость, хорошая адгезия к металлам, незначительное газовыделение в вакууме делают возможным их эффективное применение для узлов трения, работающих в вакууме при отрицательных или повышенных температурах, в агрессивной среде, оптических и электронных системах. Эти смазки получили распространение в машиностроении, металлургии и приборостроении.

Наиболее важными твердыми смазками являются: графит, сульфиды молибдена (MoS_2), вольфрама (WS_2), селениды молибдена (MoSe_2) и ниобия (NbSe_2), нитрид бора (BN), свинец (Pb), серебро (Ag), слюда, тальк, политетрафторэтилен ПТФЭ или фторопласт (зарубежное название - тефлон) и др.

Графит представляет собой модификацию углерода со слоистой структурой, обладающей очень хорошими смазывающими свойствами на воздухе. Он широко применяется как наполнитель для композиционных материалов, таких как композиты на основе ПТФЭ. Графит обладает хорошими антифрикционными свойствами в атмосферных условиях до температуры $t = 400^\circ\text{C}$, которые теряются в вакууме, инертном газе, сухом воздухе.

Различные соединения тугоплавких металлов с серой, селеном, теллуrom и другими халькогенами эффективно используются как вакуумные смазки в авиакосмической промышленности, а их применение продолжает расти.

Дисульфид молибдена и дисульфид вольфрама обеспечивают наиболее высокие триботехнические свойства.

Дисульфид молибдена кристаллизуется в гексагональной системе. Атомы молибдена расположены между двумя слоями атомов серы. Расстояние между двумя ближайшими атомами молибдена и серы равно $2,41 \text{ \AA}$, наименьшее расстояние между атомами серы в параллельных слоях составляет 3 \AA . Антифрик-

ционные свойства дисульфида молибдена ухудшаются при адсорбции кислорода, паров воды и других веществ, вступающих в химическое взаимодействие с серой. На воздухе MoS_2 окисляется до MoO_3 , а S - до SO_2 . Такие оксидные пленки начинают формироваться при 350°C , при температуре выше 480°C происходит быстрое окисление MoS_2 . В вакууме MoS_2 остается стабильным вплоть до 1100°C .

Фтор интенсивно реагирует с MoS_2 , хлор превращает MoS_2 в MoCl_2 при нагреве, в то время как бромид практически не реагирует с MoS_2 . Дисульфид молибдена очень стоек к радиации: при облучении дозой $5 \cdot 10^9$ рад следы повреждений на его поверхности отсутствуют. Важным достоинством дисульфида молибдена являются высокая адгезия к металлической поверхности и очень высокая прочность на сжатие при сохранении весьма незначительной прочности на сдвиг. Установлено, что тонкий слой твердого смазочного материала из дисульфида молибдена выдерживает статические давления до 3000 МПа и динамические давления до 1000 МПа, что соизмеримо с пределом текучести большинства конструкционных материалов.

Дисульфид вольфрама кристаллизуется в гексагональной системе. Кристаллическая решетка WS_2 подобна решетке MoS_2 , в которой атомы молибдена заменены атомами вольфрама. Дисульфид вольфрама обладает большей термостойкостью (до 510°C на воздухе) и сопротивлением окислению, чем дисульфид молибдена. Его нагрузочная способность в три раза превышает нагрузочную способность MoS_2 . Дисульфид вольфрама химически нейтрален, он нерастворим практически во всех средах, включая воду, масла, щелочи и почти все кислоты. Немногие химикаты, к которым он чувствителен, - это свободный газообразный фтор и горячие серная и плавиковая кислоты. Дисульфид вольфрама - нетоксичный материал и он не вызывает коррозию металлов.

Использование WS_2 ограничивается его стоимостью, которая в три раза превышает стоимость дисульфида молибдена. Применение дисульфида вольфрама в качестве присадки к маслам для образования коллоидных суспензий несколько затруднительно из-за его высокой плотности ($\rho = 7,4 \text{ г/см}^3$), в восемь раз превышающей плотность минеральных масел. Например, в масляной суспензии, содержащей 50% по массе графита, дисульфида молибдена и дисульфида вольфрама, объем этих компонентов будет соответственно равен 36, 15,5 и 11%.

Для использования при атмосферном давлении и температуре выше 400°C рекомендуется дисульфид вольфрама, а при более низкой температуре более предпочтителен дисульфид молибдена как более дешевый материал. В вакууме дисульфиды вольфрама и молибдена проявляют практически одинаковые свойства и обладают смазывающей способностью до 1320°C .

ПТФЭ имеет смешанную кристаллическую и аморфную структуру (степень кристалличности до 90%). Взаимодействие между молекулами и кристаллами ПТФЭ осуществляется слабыми ван-дер-ваальсовыми силами, что и обеспечивает его высокую антифрикционную инертность. Политетрафторэтилен инертен, не горит, не смачивается большинством жидкостей и работоспособен при температурах $t = -269...+270^{\circ}\text{C}$. Основные характеристики ПТФЭ: температура плавления кристаллов 327°C ; твердость 30...40 НВ (МПа); предел прочности на растяжение $\tau_p = 14...31$ МПа; модуль упругости при изгибе 0,43...0,85 ГПа; температурный коэффициент линейного расширения – $24 \cdot 10^{-5}$; допустимые нагрузки и скорости скольжения $[p]=0,2$ МПа, $[V]=2$ м/с. ПТФЭ в узлах трения применяется в виде тонких покрытий, а в композиционных материалах и в качестве наполнителя пластичных смазочных материалов. Этот материал требует осторожного обращения при нагреве. При температуре выше $400...500^{\circ}\text{C}$ начинается разложение фторопласта с выделением токсичного газа перфторизобутилена, который в 50 раз токсичнее фосгена.

Ряд твердых смазочных полимерных пленок в виде суспензий типа ВНИИ-ИНП-209, 212, 213, 229, 232 и 250 разработан Л.Н. Синтерюхиной с сотрудниками во ВНИИИП. Их наносят распылением или погружением детали в суспензию. Отверждение производят при температуре $120-300^{\circ}\text{C}$ в течение 2-3 часов.

Свойства твердых смазок приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Характеристики твердых слоистых смазок [2]

Твердая смазка	Плотность, г/см ³	Температура, °С			Коэффициент трения
		окисления на воздухе	разложения в вакууме	плавления	
Графит	1,4-1,7	455		3652*	0,04
BN	2,25	800-900		3000*	0,67
MoS ₂	4,8	400	1100	1185	0,03
MoSe ₂	6,9	400		1200	0,02
WSe ₂	9,22	350		1200	0,02
WS ₂	7,4	510	1400		
NbSe ₂	6,25	350		800	0,06
CdJ ₂	5,7			388	
PbJ ₂	6,16			412	
BiJ ₂	5,7			408-439	
Sb ₂ S ₂	5,67			552	0,17
AgJ ₂	4,64			550	0,14
*Начинается сублимация материала					

9 Металлоплакирующие смазочные материалы

Более 60 лет для обеспечения нормального режима работы и снижения износа сопряженных пар трения в смазочные материалы для химического модифицирования поверхностей трения вводились противоизносные-противозадирные присадки, включающие элементы V, VI, VII групп Периодической системы элементов Д.И. Менделеева, в основном S, Cl, P, содержащие соединения в количестве до 15%.

Общим в механизме действия защиты поверхностей трения таких присадок является образование тонких пленок около 0,1 мкм в виде сульфидов, хлоридов, фосфидов железа в результате химического взаимодействия присадок или продуктов их химического распада с контактирующими поверхностями металлов.

Защита трущихся поверхностей применением сложных элементоорганических соединений продолжается до тех пор, пока не израсходовалась присадка, после чего наблюдается ускоренный износ от каталитического действия обнаженного металла и коррозии. Недостатком использования таких присадок является и отсутствие компенсации повреждений и износа.

В связи с ужесточением условий эксплуатации машин и механизмов, большими тепловыми и фрикционными нагрузками традиционно применяемые органические присадки не могут удовлетворить требования, применяемым к смазочным материалам. В решении этой проблемы получает развитие принципиально новое направление в создании смазочных материалов, основанное на научном открытии эффекта безызносности с использованием в узлах металлоплакирующих смазочных материалов.

Впервые термин «металлоплакирующий» появился в 1962 г. в связи с изобретением смазочного материала, реализующего эффект безызносности (избирательный перенос) [5].

Металлоплакирующие смазочные материалы – это материалы, содержащие (по массе от 0,1 до 10%) присадки: порошки металлов, сплавов и их оксидов, соли и комплексные соединения металлов, металлоорганические соединения. При использовании металлоплакирующих смазочных материалов реализуется эффект безызносности, который проявляется в том, что на трущихся деталях в процессе работы узлов трения формируется тонкая, трудно поддающаяся окислению, защитная самовосстанавливающаяся металлическая пленка из введенных в смазочные материалы присадок. Толщина пленки составляет от нескольких атомных слоев до 1-2 мкм.

Научных работников по изучению эффекта безызносности можно отнести к специалистам по созданию «интеллектуальных» узлов трения. Например, метод

восстановления изношенных узлов трения машин без их разборки. Это напоминает выздоровление живого организма после какой-либо травмы.

Процесс самоорганизации в триботехнике наиболее ярко проявляется в компрессоре домашнего холодильника, где изнашивание трущихся поверхностей деталей автоматически компенсируется образованием сервовитных пленок из материала трубок охладителя компрессора. В узлах трения компрессора износа не происходит при непрерывной его работе более 40 лет в тяжелейших условиях (постоянные запуски и остановки).

Формирование сервовитной пленки в результате самоорганизации наночастиц на стальных поверхностях трущихся деталей в процессе трения происходит из ионов меди, которые, подходя к ювенильной поверхности трения, захватывают электроны от стальной поверхности и превращаются в атомы; последние кооперативно начинают строить на контактирующих поверхностях кристаллическую решетку меди толщиной 1-2 мкм. Кристаллизация пленки происходит в стесненных условиях: большие контактные давления, сдвиговые деформации, комнатные температуры и др. Здесь кристаллизационные силы природы преодолевают все эти «препятствия» и выстраивают пленку меди с иными свойствами по сравнению с пленкой из обычной меди: огромное количество вакансий, малое число дислокаций, микропористость и уменьшение параметров кристаллической решетки.

При введении в активную среду на минеральной или синтетической основе мягких металлов переменной валентности в различных формах соединений (оксиды, гидроксиды, металлоорганические соединения, соли таких металлов, как олово, свинец, медь, хром, цинк и др.) на поверхностях трения в местах фактического контакта образуется защитная металлическая пленка толщиной 1 – 2 мкм, которая в 10 раз превышает толщину пленок, образующихся при смазках с присадками химического действия.

Для осуществления процесса металлоплакирования в режиме избирательного переноса в смазочном материале наряду с металлоплакирующим соединением необходимо наличие поверхностно-активных веществ, а также соединений, способных растворить окислы металлов.

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) участвуют в образовании комплексов, сольватированных частиц, в создании устойчивой дисперсной системы, в удалении диспергированием продуктов коррозии с поверхностей трения. Существенное значение в процессе металлоплакирования имеют электрокинетические явления. Перенесение ионов, комплексов, коллоидных частиц на очищенные ювенильные поверхности обусловлено электрофоретической подвижностью частиц.

В зазоре между трущимися поверхностями генерируется ЭДС, напряженность электрического поля достигает значений 10^4 В/м³, благодаря чему и осуществляется перенос ионов, частиц, молекул ПАВ.

Среди различных электрических явлений при трении особая роль принадлежит экзоэлектронной эмиссии, интенсивность которой зависит от режимных факторов трения и других условий. При трении в условиях пластического, упругого деформирования и образования дефектов слабо связанные электроны в возбужденных атомах решетки перебрасываются на более высокие энергетические уровни, при этом кинетическая энергия свободных электронов увеличивается. Трение, повышая энергию решетки металлов, снижает работу выхода электронов и в зависимости от среды и режима нагрузки вызывает возникновение экзоэлектронной эмиссии.

Эмитированные свободные электроны ювенильной поверхности вступают в химическую реакцию с присутствующими акцепторами в смазочной среде (ионы металлов), восстанавливая их до нейтральных атомов (трибовосстановительный процесс) с формированием сервовитной металлоплакирующей пленки путем самоорганизации наночастиц.

Наибольшее распространение получили металлоплакирующие присадки к смазочным маслам, образующие медную или оловянную сервовитные пленки:

- металлоплакирующая присадка МКФ-18 (изготавливается на Новокуйбышевском нефтемаслозаводе; применяется в ряде отраслей тяжелого машиностроения, рыболовецком флоте, станкостроении, сельскохозяйственной технике, автомобильном транспорте);

- смазка «Атланта» (изготавливается на Московском экспериментальном нефтемаслозаводе; применяется в тяжело нагруженных узлах самолетов типа «Сухой»);

- смазка «Свинцоль 01» (изготавливается нефтемаслозаводом в г. Санкт-Петербург; применяется многие годы на самолетах-истребителях типа МИГ);

- смазка «Медя» (применяется в узлах трения горнодобывающего и перерабатывающего оборудования в Казахстане);

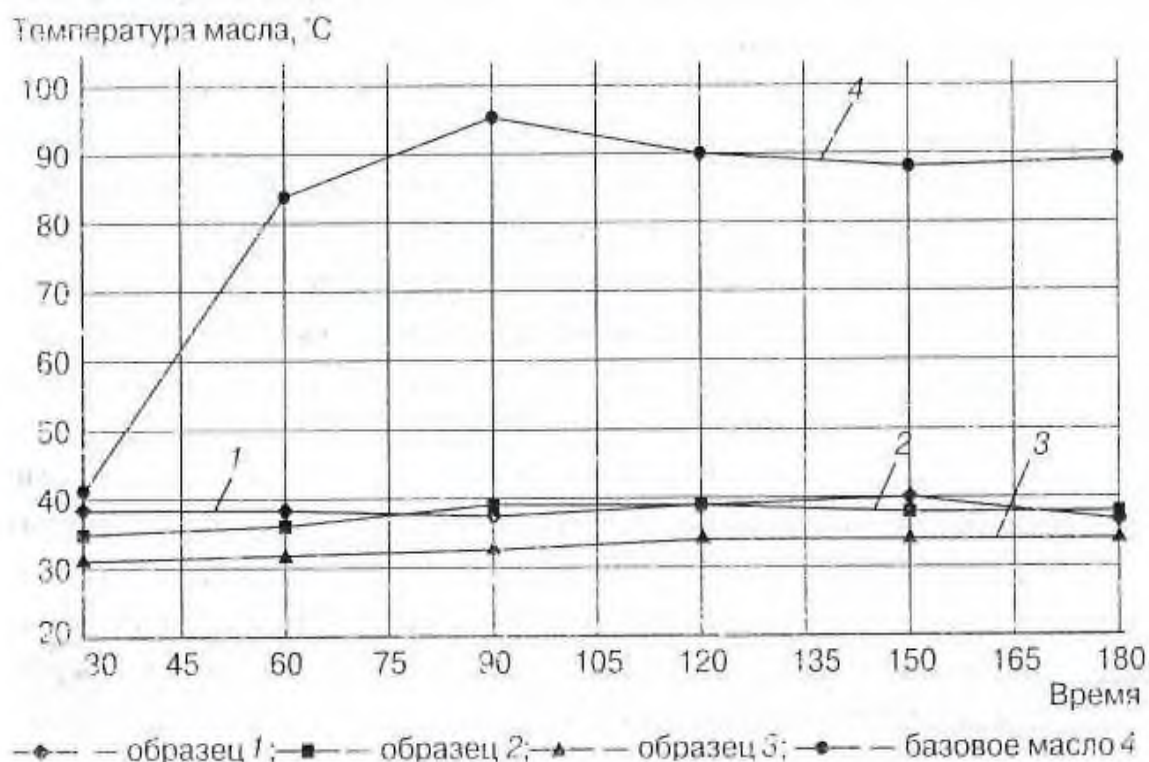
- малорастворимая многофункциональная металлоплакирующая присадка «Валена» (применяется в узлах трения горнодобывающего и перерабатывающего оборудования в Казахстане; в тяжело нагруженных узлах трения тяжелого машиностроения, изготавливается Кусковским заводом консистентных смазок);

- смазка «Буксол-М» (применяется в тяжело нагруженных узлах железнодорожного транспорта, изготавливается Кусковским заводом консистентных смазок);

- смазка «Пума» (применяется для смазки пары трения «колесо-рельс» в железнодорожном транспорте, изготавливается Кусковским заводом консистентных смазок).

За рубежом применяются такие металлоплакирующие присадки, как Металл-5 (Швейцария, Франция); Лубрифильм-металл (Италия, Франция); Слюдер 2000 (Англия); Реловер (США) и др.

Приведенные сравнительные испытания российских и зарубежных металлоплакирующих смазочных материалов показали, что российские смазочные материалы не уступают зарубежным, а некоторые из них даже их превосходят (рисунок 12).



образец 1 – масло машинное М14В (Лукойл) + 0,2% присадки «Валена»;
образец 2 – масло машинное М14В (Лукойл) + 0,4% присадки «Валена»;
образец 3 – масло машинное М14В (Лукойл) + 0,6% присадки «Валена»;
образец 4 - масло машинное М14В (Лукойл) без присадки

Рисунок 12 – Изменение температуры масла с течением времени [3]

Металлоплакирующие смазочные масла применяют в тяжелонагруженных узлах трения качения и скольжения в самолетах, автомобилях, двигателях внутреннего сгорания, прокатного металлургического оборудования, подшипниках зачистных машин, текстильном, швейном оборудовании и др.

Использование металлоплакирующих смазочных материалов позволяет повысить долговечность узлов трения (в 2-3 раза), снизить потери на трение (на 30-

200%) и тем самым повысить КПД машин и оборудования, уменьшить расход смазочных материалов (в 2-3 раза), увеличить период между смазочными работами (до 3 раз).

Повышенная эффективность металлоплакирующих смазочных материалов обеспечена следующими факторами: наличием контакта поверхностей трения через пластически деформирующийся мягкий и тонкий слой металла; большей реализацией эффекта Ребиндера; переносом частиц износа с одной поверхности трения на другую и удержанием частиц в зоне контакта электрическим полем; защитой поверхностей трения от проникновения водорода.

10 Смазывание узлов машин при эксплуатации

При работе машин количество масла из-за утечек через неплотности, перехода его доли в шлам, потерь с удаляемой водой, испарения, угара обычно уменьшается. Потери масла в системе периодически восполняют доливом.

Вследствие старения масло в системе теряет смазочные свойства и требуется периодическая замена его свежим. Масло меняют независимо от регламентированных сроков при выпадении шлама более обычного и выхода значений кислотного числа, вязкости, других показателей за пределы установленных норм. Периодически производить анализ работающего масла рекомендуется в системах большой вместимости.

У пластичного смазочного материала засоряется только рабочий слой, покрывающий поверхности трения. Сильное загрязнение этого слоя усиливает изнашивание деталей и затрудняет замену смазочного материала. Свежий смазочный материал перемещает неработавший слой, вытесняет значительную часть загрязненного смазочного материала и смешивает ее с остатком. Противодавление при нагнетании пластичного смазочного материала определяют опытным путем. Оно зависит при данных физико-химических свойствах от размеров и формы каналов, подводящих смазочные материалы, от конструкции узла, его износа, от температуры состояния старого смазочного материала, определяемого качеством и регулярностью предыдущих смазочных операций.

Пластичный смазочный материал при нагнетании в пресс-масленки должен выступать наружу через зазоры смазываемого узла. Если масленка исправна, а смазочный материал все же не проходит через зазор, то нужно разгрузить узел и после этого произвести подачу смазочного материала.

Закладку смазочного материала в смазочную полость производят после промывки поверхностей трения.

Смазочные материалы необходимо экономить. Иногда неправильно смазывают подшипники автомобильных колес, заполняя мазью до отказа ступицы и колпаки. Для работы подшипников в этом нет необходимости; нужно смазывать только подшипники. Расход смазочного материала в этом случае уменьшается приблизительно в четыре раза, смазочный материал не будет вытекать из ступиц и замасливать тормозные колодки.

Чистота смазочных материалов является одним из важнейших условий долговечности машин, поэтому при их транспортировании, хранении, выдаче и в процессе заправки должны быть приняты меры против загрязнения.

Смазывание узлов машин должно осуществляться в соответствии с заводскими инструкциями. Сроки смены масла зависят от условий работы машины и поэтому могут быть различными для одной и той же машины. Для любой маши-

ны периодичность подачи смазочного материала в картере должна назначаться исходя из условий наиболее неблагоприятного длительного режима работы малоизношенной машины. Для установления такой периодичности необходимо располагать опытом эксплуатации данной машины либо ей подобной.

Кроме общей инструкции по смазыванию машины для наглядности и избежания пропусков смазочных точек должна быть составлена карта смазки.

Размеры карты смазки назначают в зависимости от сложности машины (наиболее часто используют размеры 288 x 407 и 407 x 576 мм).

При разработке карты смазки оборудования необходимо соблюдать следующие требования:

- карта смазки должна состоять из схемы смазывания машины (схематический чертеж основных узлов машины или ее кинематическая схема) и таблицы смазки, в которых подробно указаны все узлы, в которые необходимо закладывать смазочные материалы;

- таблица смазки должна включать информацию, необходимую эксплуатационным службам;

- следует предусмотреть эффективные смазочные материалы, обеспечить их возможную унификацию и выполнение требований по совместимости смазочных материалов;

- в информации о том, как часто необходимо обновлять смазку следует указывать количество дней между закладыванием смазки и объемом материала;

- при указании периодичности замены и пополнения узлов трения свежими смазками следует учитывать технологические режимы и условия работы оборудования;

- карта смазки должна рекомендовать оптимальный вариант нанесения смазки (при помощи шприца, разбрызгивания, погружения, ручным способом и т.д.).

При составлении карты смазки используют инструкции и схемы заводоизготовителей, результаты исследований и опыт эксплуатации машины.

11 Изменение свойств смазочного материала в эксплуатации

Смазочный материал в работе стареет, изменяются его первоначальные свойства в результате химических и физических процессов, которым материал подвергается. При эксплуатации преимущественно испаряются легкие фракции масла; оно засоряется продуктами окисления, полимеризации, конденсации и распада самого масла, загрязняется продуктами изнашивания смазываемых поверхностей и пылью (минеральной, металлической либо органической).

Физико-химические изменения масел прежде всего связаны с их окислением (совокупностью химических превращений в масле в присутствии кислорода). Окисление масла происходит в толстом слое (в масляных цистернах, баках, маслопроводах), в тонком слое (на смазываемых поверхностях) и в туманоподобном виде.

Минеральные масла в объеме (в толстом слое) при нормальной температуре и атмосферном давлении почти не окисляются. Окисление ускоряется при повышении температуры (изменение физико-химических свойств масел при температуре 100 °С исчисляется сутками, а при 250 °С – минутами). Скорость окисления значительно изменяется в присутствии металлов, в особенности их оксидов и металлических мыл. Наиболее сильным катализатором окисления является свинец; за ним следует медь и железо. Почти не влияет на процесс окисления алюминий. Каталитическое действие других металлов слабое. Они могут даже тормозить окисление. Более интенсивным делает окисление наличие воды в масле.

Основное окисление масла происходит в тонком смазочном слое, где оно подвергается высокому давлению и наибольшему нагреву и где сильнее оказывается каталитическое воздействие металлов, а также в контакте со стенками маслопроводов. Интенсивное окисление происходит при большой поверхности соприкосновения масла с воздухом, при проточном смазывании или при смазывании погружением. Вспенивание масла способствует его окислению. Насыщение воздухом, повышение температуры масла, обводнение в присутствии стали, бронзы, латуни, баббитов и продуктов их изнашивания стимулируют окисление и в объеме (толстом слое).

В общей совокупности продуктами окисления масел являются спирты, альдегиды, кетоны, кислоты, сложные эфиры, смолы, асфальтены, карбены и карбоиды.

В результате окисления масла изменяется его химический состав (увеличивается содержание в нем исходных смолистых веществ, заново образуются другие; повышается плотность масла и меняется на более темный его цвет; увеличивается вязкость масла, которая намного может превосходить исходную в связи с

образованием или уже с увеличением содержания в масле асфальтосмолистых веществ). Повышение вязкости масла усиливает его гидродинамическое действие и повышает нагрузочную способность смазочного слоя. Однако при этом возрастают потери на перемещение по маслопроводам, а при смазывании погружением – на размешивание. Из-за увеличения внутреннего трения масла может повыситься его средняя температура, что усилит окисление. В быстроходных машинах, где повышение вязкости масла связано с возможностью сильного перегрева поверхностей трения, ограничивает рост вязкости.

Старение масла более интенсивно, чем в других машинах, происходит в двигателях внутреннего сгорания. Масло не только окисляется и обводняется, но и загрязняется топливом, продуктами его окисления и распада. Поэтому плотность и вязкость масла в системе могут увеличиваться, уменьшаться или оставаться без изменения в зависимости от степени окисления масла и его разжижения фракциями топлива. Кроме того, в результате окисления масла в нем образуются нафтеновые кислоты, химический состав которых может быть различным. Их образование отмечается увеличением кислотного числа, так как продукты окисления сами по себе оказывают каталитическое действие. Сезонные изменения температуры могут заметно влиять на интенсивность окисления масел в системах машин с высокой тепловой нагрузкой.

Образующиеся кислоты и смолы, являясь полярными соединениями, улучшают смазочную способность масел в области трения при граничной смазке. Смолистые и углистые вещества как продукты полимеризации масел при их окислении выделяются в раздробленном состоянии. В раздробленном состоянии попадают в масло и продукты изнашивания, а также посторонние механические частицы. Во взвешенном состоянии находится в масле вода. Поэтому работающее масло представляет собой ряд дисперсных систем с различной степенью дисперсности. Смолы диспергируются до молекул, углистые частицы дают более грубые дисперсные системы.

Часть смолистых веществ растворяются в масле, образуя истинные растворы, остальная часть и углистые вещества входят в коллоидный раствор или образуют суспензию (взвесь). Не растворившиеся в масле смолы, асфальтены, карбены и карбоиды, к которым присоединяются окислительные продукты, могут выпадать из масла в виде осадка, для этого требуется некоторая концентрация этих веществ. Смолистые вещества могут отлагаться и на поверхности трения.

Причинами обводнения масла в смазочных системах являются выделение воды в результате разложения углеводородов масла в процессе старения, утечки пара через уплотнения; утечки воды через уплотнения, конденсация попавшей из атмосферы влаги в картерах, корпусах редукторов, в баках и цистернах; частичная конденсация водяного пара, входящего в состав продуктов сгорания и про-

рывающегося вместе с ними в картеры двигателя внутреннего сгорания. Наличие воды в масле ухудшает его смазочные свойства, способствует в присутствии металлов-кристаллизаторов более быстрому окислению масла и создает опасность корродирования поверхностей деталей. Рабочие поверхности некоторых деталей (например, шеек валов) при наличии в масле пресной воды темнеют, при наличии соленой воды заметно корродируют.

Вода в масле или топливе – одна из основных причин водородного изнашивания деталей. Вода в масле циркуляционной системы транспортных двигателей может стать причиной серьезных неисправностей в зимнее время. Масляные фильтры могут оказаться закупоренными льдом, а масляный насос может прекратить подачу масла вследствие обмерзания сетчатых фильтров. Это относится в первую очередь к автомобильным двигателям, где находящееся в поддоне картера масло подвергается интенсивному охлаждению при движении автомобиля. Этим объясняются случаи выплывания в холодную погоду подшипников коленчатых валов этих двигателей. В двигателях с внутренними полостями в коленчатых валах вода, попадая вместе с циркулирующим маслом во внутренние полости шатунных шеек и имея большую плотность, чем масло, сепарируется и накапливается здесь во время работы двигателя. Если после остановки двигателя шатунная шейка, в полости которой накопилась вода, займет положение выше коренных шеек, то вода, отстоявшись, заполнит соединительные каналы в щеках вала, где образуются при охлаждении двигателя ледяные пробки. В таком случае при пуске двигателя, если не будут приняты предварительные меры для оттаивания пробок. Часть коленчатого вала окажется отключенной от смазочной системы.

Отложения на деталях и в смазочной системе. Указанные отложения образуются в результате старения масла, а в двигателях внутреннего сгорания, кроме того, из продуктов разложения и неполного окисления топлива. Эти отложения не являются полностью углеродистыми, хотя и получили такое наименование. Углеродистые отложения в двигателях разделяются на три вида: нагар, лак и осадки (шлам). Для нагара характерен черный цвет, но он может быть белого, оранжевого, коричневого и других цветов, имея различную структуру – плотную, рыхлую или пластинчатую. Нагарообразование, кроме двигателей, возможно и в других машинах.

Лак представляет собой тонкий слой твердого или клейкого углеродистого вещества от коричневого до черного цвета. Лаковые отложения в двигателях на боковой и внутренней поверхностях поршня, на шатуне и поршневых пальцах объясняются тем что масло в тончайшем слое при повышенной температуре на металлической поверхности в присутствии кислорода подвергается полимериза-

ции и уплотнению. Такова же природа процесса лакообразования на штоках клапанов, пальцах прицепных шатунов, коренных и шатунных подшипников авиационных поршневых двигателей, а также подшипников качения турбореактивных двигателей. Этот процесс протекает, хотя и с меньшей интенсивностью, в подшипниках и на шейках валов автотракторных, тепловозных и судовых двигателей, а также на деталях других машин, например, на бронзовых подшипниках шпинделей металлорежущих станков. При неудовлетворительной работе системы охлаждения компрессоров образуются лаковые отложения на клапанах поршневых колец цилиндров и пластинах ротационных компрессоров. В опытах С.В. Венцеля над возвратно-поступательной парой наблюдалось образование отложений при средней температуре металла до 70°C и масла до 50°C.

Если лаковые отложения на поршне могут привести к его перегреву вследствие ухудшения условий теплоотвода и заклиниванию поршневых колец в канавках поршня, то отложения на рабочей поверхности подшипников можно рассматривать как положительный фактор снижения скорости изнашивания и повышения противозадирной стойкости сопряженной пары. По утверждению некоторых исследователей любой хорошо приработавшийся подшипник обычно покрыт полимерными образованиями.

Шлам – это тестообразное или полутвердое вещество от светло-коричневого до черного цвета, состоящее из жидкости и нерастворимых в ней веществ, загущающих ее в эмульсию или суспензию. В смазочной системе шлам состоит из масла, нерастворимых в нем смолистых веществ и других продуктов окисления, воды и твердых частиц в масле. Шлам в картерах автомобильных двигателей состоит на 70% из масла, 5-15% из воды, остальное – горючее, продукты окисления масла и твердые частицы. В состав осадка смазочных систем паровых турбин входит масло, нерастворимые продукты окисления, вода, кремний, окислы железа, меди и цинка, сульфаты и хлориды. Шлам может встречаться в виде отдельных сгустков, плавающих в масле, или в исключительных случаях в виде больших комьев.

Отложения смолистых веществ из рабочей жидкости гидравлических систем на деталях прецизионных золотниковых пар могут привести к временному зависанию золотников или полному заклиниванию пары.

Шламообразование, связанное с интенсивным старением масла, существенно зависит от температуры последнего. Обводнение масла, засорение его механическими частицами, в особенности мельчайшими, являющимися эмульгаторами, частичное или полное засорение сапуна в двигателях внутреннего сгорания способствует образованию шлама. Накопившийся шлам забивает фильтры, маслоохладители и полости центрифуг, уменьшает пропускную способность масляных каналов. Забивка шламом приемника масляных насосов может полностью

нарушить работу смазочной системы. При центробежной очистке масла в полостях шатунных шеек коленчатых валов отделившийся шлам освобождается от жидкой фазы и спрессовывается. Эти отложения могут ограничить ресурс двигателя.

Пенообразование. Пена представляет собой соединение микроскопических пузырьков газа или пара, отделенных друг от друга пленкой жидкости толщиной около 10^5 см. Пена образуется при взбалтывании масла и выделении на его толщине находившихся в растворенном или взвешенном состоянии воздуха, паров и газов. Все жидкости способны растворить в себе газы в количестве, прямо пропорциональном давлению на поверхности контакта и зависящем от свойств жидкости и газа. Воздух, например, при повышении давления на 0,1 МПа растворяется в маслах и смесях минерального происхождения в количестве до 10% объема жидкости, азот – до 13%, а углекислый газ – до 85%. При понижении давления излишек газа выделяется до наступления равновесия между жидкой и газовой фазами, причем процесс происходит во много раз интенсивнее растворения. Пенообразование может произойти при смазывании деталей погружением и при стоке масла в маслоборники. Другая возможность пенообразования обусловлена выделением из масла паров и газов.

При взбалтывании масла, при его разбрызгивании и струйном смазывании высокооборотных деталей двигателей внутреннего сгорания в масло заносится воздух, в картеры двигателей прорываются газы и пары топлива. В некоторых подшипниках в слое масла, омывающего цапфу, образуется вакуум в ненагруженной зоне, в результате чего масло насыщается газом.

Во всасывающей полости насоса и на участках маслопровода, где повышается скорость масла или изменяется направление его движения, может произойти выделение воздуха из масла вследствие понижения давления. Выделившийся здесь или поступивший вместе с маслом воздух расширяется, заполняет некоторый объем и затем насос сжимает масляно-воздушную смесь.

С присутствием нерастворимого в масле воздуха и с пенообразованием связаны различные отрицательные явления: 1) уменьшается подача масляных насосов; 2) появляются пульсации давления в системе, что исключает возможность равномерной подачи масла к смазываемым поверхностям; 3) ухудшается смазывание вследствие разрыва масляной пленки на смазываемых поверхностях пузырьками воздуха, что может привести к опасному местному перегреву; 4) пузырьками воздуха масло уносится через зазоры, сапуны картеров или маслобаков и через стыки, что приводит к потере масла; 5) искажаются показания уровня масла в картере, что может вызвать эксплуатацию машины или механизма при недостаточном смазывании; 6) ускоряется окисление масла.

Кроме расположения масляного насоса, конструкций маслозаборника и

маслопровода пенообразование зависит от качества масла. Способствуют пенообразованию моющие присадки в маслах, обводнение (достаточно менее 0,1% количества воды в масле) и окисление масла. В коробках передач независимо от марки и номинальной вязкости масла существует область температур и рабочих вязкостей при которых пенообразование наиболее интенсивно. Это объясняется влиянием температуры на образование и стойкость пены. Стойкость пены уменьшается с увеличением температуры. Температура более 70 °С вызывает быстрый распад пены. Вспенивание масла в картере двигателя происходит только спустя некоторое время после пуска, а прекращение пенообразования – после того, как будет пройден некоторый температурный интервал. Для уменьшения пенообразования применяют противопенные присадки к маслу.

12 Направления развития смазочных материалов

Примером разработок новых смазок в современных прецизионных трибологических системах являются специальные смазки, способные формировать очень тонкие защитные пленки на поверхности дисков для хранения информации в современных персональных компьютерах. Эти пленки должны иметь хорошую адгезию к диску, вращающемуся с очень высокой скоростью, и сохраняться на протяжении всего срока эксплуатации компьютера без повреждений. Разработаны нетрадиционные подходы к подаче смазки на поверхность трения жесткого магнитного диска с использованием нанесения монослоя смазки на подложку из раствора с концентрацией смазки, необходимой для того, чтобы покрыть подложку одним слоем молекул. Эти покрытия продемонстрировали превосходную долговечность и антифрикционные свойства в прецизионных узлах.

Другой пример из области современных смазок - использование *жидкокристаллических присадок*, образующих на поверхности трения защитные слои мономолекулярной толщины. Подобный тип смазки характерен для суставов человека, которые значительно превосходят по эффективности современные подшипники.

Еще один современный метод обеспечения эффективной граничной смазки при долговременной работе – выполнение специального микрорельефа поверхности, обеспечивающего предотвращение так называемого смазочного голодания. Микрорельеф может формироваться регулярно расположенными канавками или впадинами, а также специальной сотовой или квадратной текстурой поверхности.

Разработаны новые методы подачи смазки в зону фрикционного контакта, позволяющие при необходимости удерживать смазку в определенном месте. Некоторые из них были разработаны для космической технологии, в которой отсутствие земного притяжения обуславливает необходимость удерживать смазку в рабочей области. В таких применениях успешно используется суспензии очень малых частиц магнитных материалов в силиконовом масле (магнитные жидкости), обеспечивающие комбинированное действие (работают и как смазки, и как уплотняющие агенты в вакуумных технологиях). Другой пример нетрадиционного смазывания в вакууме – применение смесей твердых смазок, например, дисульфида молибдена с магнитными порошками. Эти смеси могут удерживаться в контакте зубчатых колес в вакууме посредством магнитного поля, что обеспечивает эффективное смазывание контакта.

13 Выбор смазочных материалов

Выбор смазочных материалов производится для вновь проектируемых машин, для машин после их модернизации и для действующего оборудования при изменении условий эксплуатации. По своей сути смазочные материалы являются конструкционными материалами и от правильного выбора соответствующей марки смазочного материала во многом зависит надежность машин и механизмов.

Освоение методики выбора смазочных материалов позволяет не только осуществлять их выбор, но и выявлять как границы их использования, так и область изменения параметров нагружения, обеспечивающую наибольшую износостойкость узла трения.

Применение того или иного вида смазочного материала в конкретном узле трения зависит от многих факторов, основными из которых являются:

- конструктивное исполнение узла трения;
- условия внешней среды (температура воздуха, его влажность, запыленность, наличие агрессивных газов и т.п.);
- особенности технологического процесса;
- удельная нагрузка;
- скорости смещения контактирующих поверхностей;
- характер движения (прерывистое, реверсивное, нереверсивное);
- геометрические характеристики и материалы пары трения;
- твердость поверхностных слоев трущихся тел;
- необходимость использования конкретной системы смазывания;
- квалификация обслуживающего персонала;
- удобство обслуживания механизма;
- требования надежности;
- экономические факторы.

Металлургические машины, особенно прокатные станы, характеризуются широким спектром нагружения, и поэтому даже рекомендуемые заводом-изготовителем марки смазочных материалов не могут охватить всего диапазона изменения силовых и кинематических параметров технологического процесса.

Специалист, который осуществляет техническую эксплуатацию оборудования обязан знать границы изменения этого диапазона как для используемых марок смазочных материалов, так и для их заменителей.

Методика выбора смазочных материалов в общем случае состоит в следующем:

- 1) выявляют условия работы и технические параметры узла трения;
- 2) осуществляют выбор вида смазочного материала;

3) определяют марку смазочного материала.

Простое правило для выбора смазки в зависимости от условий работы трибосистемы предложил Лансдаун (рисунок 13).



Рисунок 13 - Влияние скорости и давления на выбор смазки [2]

Для смазки металлургического оборудования применяют три вида смазочных материалов: жидкие (минеральные масла), пластичные (густые, консистентные) и твердые (сухие). Границы применения различных смазочных материалов определяются их основными свойствами и конкретными условиями эксплуатации. Жидкие смазочные материалы, как правило, используют в узлах жидкостного или полужидкостного трения при условии их надежного уплотнения, позволяющего избежать утечек масла; в подшипниках жидкостного гидродинамического трения и т.п. Пластичные смазочные материалы применяют в тех узлах трения, в которых трудно обеспечить надежное уплотнение; в тяжело нагруженных подшипниках качения и скольжения, работающих при низких окружных скоростях с частыми реверсами и в повторно-кратковременном режиме; для защиты поверхностей трения от попадания на них влаги, пыли и т.п. Твердые смазочные материалы применяют при высоких температурах, в условиях вакуума и агрессивных сред, то есть там, где использование минеральных масел и пластичных смазок нежелательно или невозможно.

Целый ряд твердых тел также обладают смазывающими свойствами: полимеры, графит, дисульфид молибдена - наиболее известные из них. Даже пленка мягкого металла, такого, как золото, свинец или олово, может служить смазкой при определенных условиях. Более того, развитие современной техники привело к появлению газовых подшипников, в которых в качестве смазки можно использовать любой неагрессивный и химически стабильный газ.

Можно привести относительно простое разделение смазок на четыре основных типа: масла, пластичные смазки (масла, загущенные некоторыми веществами, чтобы сделать их менее текучими), твердые смазки и газы.

Для выполнения своих функций смазочные материалы должны удовлетво-

рять разнообразным, иногда противоречивым требованиям. Они должны обеспечивать малый коэффициент трения, иметь высокую нагрузочную способность и хорошую теплопроводность, обладать высокой стабильностью, взрыво- и пожаробезопасностью, быть нетоксичными; содержать минимальное количество примесей; иметь низкую стоимость; быть удобными в эксплуатации и т.п. Кроме того, идеальный смазочный материал должен быть универсальным, всесезонным и обеспечивать надежную работу машин и агрегатов без его замены в течение всего срока их службы (или до их капитального ремонта).

В узлах трения металлургических машин наиболее широко применяются жидкие, пластичные и твердые смазочные материалы.

В качестве жидких смазочных материалов широко распространены минеральные масла, обеспечивающие жидкостную смазку, интенсивный теплоотвод, фильтрацию продуктов изнашивания, возможность контроля за состоянием масла и его подачей, простоту добавки и смены масла, возможность сбора отработанного масла и его регенерации.

Недостатки минеральных масел:

- при температуре выше 150°С происходит деструкция масел;
- при незначительном изменении температуры масла происходит значительное изменение его вязкости;
- повышенные утечки через неплотности в разъемах корпусов и соединений маслопроводов в результате чего требуется эффективная герметизация узлов трения и необходимо применение сложных уплотнений;
- необходимость большого количества одновременно используемого масла;
- повышенная пожароопасность.

Минеральные масла необходимо применять в узлах трения с интенсивным тепловыделением, работающих при достаточно больших контактных нагрузках и скоростях скольжения. Такими узлами металлургических машин являются:

- редукторы;
- подшипники скольжения;
- подшипники качения;
- шестерни клети;
- нажимные устройства и др.

Марки минеральных масел приведены в таблице П.Б.1 приложения.

В таблице П.Б.2 приложения приведены основные эксплуатационные свойства масел для ПЖТ и редукторов прокатных станов

В таблице П.Б.3 представлены основные эксплуатационные свойства трансмиссионных масел.

В таблице П.Б.4 приведены основные эксплуатационные свойства специальных масел.

В случае невозможности реализации в узле трения жидкостной смазки применяют пластичные смазочные материалы, обеспечивающие:

- режим граничной смазки;
- работоспособность узла трения при высоких температурах и широком скоростном диапазоне;
- хорошее удерживание смазочного материала в корпусах и возможность работы сопряжений при больших зазорах (слабо герметизированных узлах трения);
- хорошее заполнение зазоров в узлах трения и неплотностей корпусов подшипников, что препятствует загрязнению поверхностей трения;
- длительный срок службы в герметизированных узлах трения.

Недостатки пластичных смазочных материалов:

- возможность их расслоения, распыления, вытекания при продолжительной работе в условиях повышенных температур;
- трудоемкая замена смазочного материала, требующая разборки и промывки механизмов.

Пластичные смазочные материалы применяют в парах скольжения тихоходных механизмов, в открытых зубчатых передачах и подшипниках качения, а также там, где можно избежать усложнения конструкции узла, связанного с использованием жидкого смазочного материала. Основные характеристики и марки пластичных смазочных материалов приведены в таблицах П.Б.5 и П.Б.6 приложения.

Твердые смазочные материалы применяют в узлах трения металлургических машин, которые характеризуются высокими контактными напряжениями и низкими скоростями скольжения ($<0,1$ м/с), наличием агрессивных сред, разрушающих обычные смазочные материалы, и экстремальных температур (выше 300°C , и ниже -80°C). Их наносят на поверхность трущихся деталей в виде суспензий. После термической обработки на поверхности деталей образуются твердые смазочные пленки.

Недостаток таких покрытий – малый срок службы.

Основные характеристики пастообразных и твердых смазочных материалов, суспензий приведены в таблице П.Б.7 приложения.

В таблице П.Б.8 приложения приведены основные характеристики самосмазывающихся и металлокерамических материалов.

13.1 Выбор смазочных материалов для подшипников скольжения

Для смазки подшипников скольжения в зависимости от конкретных условий эксплуатации и особенностей конструкции узла применяются различные смазочные материалы.

Твердые смазки используются при высоких температурах и контактных давлениях, при работе в агрессивных средах, высоком вакууме и др.

Пластичные смазки рекомендуется применять:

1) при больших удельных нагрузках и скоростях скольжения ($V_{ск} < 1...2$ м/с);

2) при частых пусках и остановках;

3) в подшипниках из свинцовистых бронз и полимерных материалов;

4) в негерметизированных и труднодоступных узлах трения.

При выборе марки пластичной смазки можно использовать рекомендации, приведенные в таблице 8.

Таблица 8 – Рекомендации по применению пластичных смазок в подшипниках скольжения в зависимости от условий работы [4]

Минимальная рабочая температура, °С	Удельная нагрузка (контактное давление) p, МПа	Марка пластичной смазки	Система подачи смазки
60	<6,5	Солидол С, пресс-солидол	Закладная, ручная
50	<1	Пресс-солидол УС-1	СРГ
100	>6,5	УТ-1, УТ-2	Закладная, ручная
60	>6,5	ВГ-1	САГ
120	>6,5	Литол-24, Фиол, Униол-1, ИС-1п	Ручная, СРГ
150	>6,5	ВНИИНП-207, Униол-1	СРГ, Закладная в герметичных узлах
250	>6,5	ВНИИНП-231	Закладная в герметичных узлах
250	<1	ВНИИНП-246	Закладная в герметичных узлах
-50	<1	ЦИАТИМ-201, Униол-3	СРГ, ручная

Таблица 9 – Рекомендуемые значения кинематической вязкости масел V_{50} , сСт для цилиндрических и конических зубчатых колес [4]

Материал зубчатых колес	σ_b , МПа	Кинематическая вязкость V_{50} , сСт масла при окружной скорости V_t , м/с						
		<0,5	0,5...1	1...1,25	2,5...5	5...12,5	12,5...25	>25
Пластмасса, чугун, бронза	-	180	120	85	60	45	34	-
Сталь после объемной термообработки	<1000	270	180	120	85	60	45	34
	1000...1250	270	270	180	120	85	60	45
	>1250	450	270	270	180	120	85	60
Сталь после цементации, поверхностной закалки	-	450	270	270	180	120	85	60

Минеральные масла рекомендуется применять при интенсивном тепловыделении на поверхностях трения, в подшипниках из мягких антифрикционных материалов (бabbitов, оловянных бронз и др.) и при значительных скоростях скольжения контактирующих поверхностей. Основным свойством минеральных масел, определяющим возможность реализации режима жидкостной смазки, является вязкость. Поэтому выбор марки минерального масла основывается на расчете требуемой вязкости при рабочей температуре узла трения.

Для практики эксплуатации подшипников скольжения необходимую вязкость можно определять из зависимости

$$\eta_t = S_o \cdot p_o \cdot \frac{\psi^2}{\omega}, \quad (8)$$

где η_t – динамическая вязкость при рабочей температуре, Па·с;

S_o – безразмерная величина, число Зоммерфельда;

p_o – номинальное давление, Па;

ω – частота вращения вала, с⁻¹;

$\psi = \Delta/d$ – относительный диаметральный зазор;

d – диаметр вала, м.

Значение числа Зоммерфельда S_o находится из зависимости:

$$S_o = \eta \cdot \omega / (p \cdot \psi^2), \quad (9)$$

Взаимосвязь между числом Зоммерфельда и относительной минимальной величиной смазочного слоя может быть выражена следующими зависимостями для различных значений отношения длины к диаметру подшипника l/d :

$$l/d = 0,75 \dots 1,0 \quad S_o = \xi / (0,8l/d - 0,24) \quad (10)$$

$$l/d = 1,0 \dots 2,0 \quad S_o = \xi / (0,43l/d + 0,24) \quad (11)$$

при подстановке в них оптимального значения минимальной толщины масляной пленки $\xi = 0,35$.

Для конструируемого подшипника скольжения величина относительно зазора ψ находится из соотношения

$$\psi = \psi_{cp} = (\Delta_{min} + \Delta_{max}) / 2d, \quad (12)$$

где Δ_{min} , Δ_{max} – минимальный и максимальный зазоры в поле допуска принятой посадки.

Средняя рабочая температура масла в подшипнике скольжения определяется из зависимости:

$$t_p = t_{вх} + a \cdot P / 2d^2, \quad (13)$$

где $t_{вх}$ – температура масла, входящего в подшипник (принимается равной 40–60°C в зависимости от возможности теплоотвода и нагруженности узла трения);

P – нагрузка на подшипник, МН;

d – диаметр вала, м;

a – коэффициент при давлении масла 0,3 МПа

$$a = 11,26 \cdot (l/d)^{-1,8} \cdot [2,8 - (l/d)]^{-1}. \quad (14)$$

При износе подшипника давление масла падает, и при его снижении менее 0,1 МПа значение коэффициента a возрастает в 1,5 раза, что ведет к снижению вязкости минерального масла.

Определив необходимую вязкость при рабочей температуре, находим вязкость при эталонной температуре 40 или 50°C для маловязких масел, или при 100°C для высоковязких минеральных масел.

$$\eta_{t_3} = \eta_{t_p} (t_p / t_3)^n \quad (15)$$

Температура оказывает существенное влияние на вязкость. В инженерных расчетах значение вязкости в зависимости от температуры можно определить по формуле Прокофьева:

$$V_t = V_{t_3} \cdot (t_3 / t)^n, \quad (16)$$

значение коэффициента n находим из зависимости:

$$n = \frac{1 + \lg \cdot \nu_p}{2,8 - \lg \cdot t_p}, \quad (17)$$

где ν_p – кинематическая вязкость масла при рабочей температуре;

t_p – рабочая температура масла.

Выбрав необходимую марку смазочного материала из таблицы П.Б.1, можно найти характеристики подшипника скольжения (коэффициент надежности, максимально возможный диаметральный зазор, коэффициент трения и др.)

13.2 Выбор смазочных материалов для подшипников качения

В подшипниках качения наилучшим смазочным материалом являются минеральные масла. Но их использование усложняет конструкцию подшипникового узла. При использовании пластичных смазочных материалов упрощается конструктивное исполнение узла и во многих случаях облегчается его эксплуатация. Наиболее эффективно применение пластичных смазочных материалов в герметизированных подшипниковых узлах и в подшипниках, подверженных ударным нагрузкам.

Обычно ограничением на применение пластичных смазочных материалов является окружная скорость, лимитируемая значением произведения внутреннего диаметра подшипника d , мм на частоту вращения n , об/мин.

Таблица 10 – Допустимые значения параметра $[d n]$ в зависимости от типа подшипника при среднем нагружении

Тип подшипника	$[d n]$
Радиальный шариковый	$5 \cdot 10^5$
Радиально-упорный шариковый	$4 \cdot 10^5$
Цилиндрический роликовый	$4 \cdot 10^5$
Конический роликовый	$2 \cdot 10^5$
Цилиндрический роликовый двухрядный	$5 \cdot 10^5$
Упорный шариковый	$n(dh)^{1/2} = 0,8 \cdot 10^5$
Игольчатый подпятник	$n \cdot d_H = 2,5 \cdot 10^5$
Примечание: h – высота подшипника, мм; d_H – наружный диаметр, огибающий иглы, мм	

Величина допустимых значений параметра $[d n]$ снижается:

- для тяжелонагруженных подшипников (контактные напряжения до $5 \cdot 10^3$ МПа) на 25%;
- при вертикальном расположении подшипников на 25%;
- при вращении внешнего кольца на 50%;
- при спаренных подшипниках на 25%.

Минеральные масла рекомендуется использовать в подшипниках качения при частоте вращения менее 5-10 об/мин и окружной скорости более 5 м/с.

При выборе марки минерального масла для подшипникового узла необходимо учитывать размеры подшипника и частоту его вращения, величину нагрузки, действующей на подшипник, рабочую температуру подшипникового узла и состояние окружающей среды.

Выбор необходимой вязкости минерального масла осуществляется по номограммам на рисунке 14. Марка минерального масла находится по таблице П.Б.1.

13.3 Выбор смазочных материалов для зубчатых передач

Для смазки открытых зубчатых передач рекомендуется применять пластичные смазочные материалы, основанные на кальциевых, комплексных кальциевых или алюминиевых мылах и которые содержат антифрикционные добавки и вязкие битумные композиции. Эти смазки имеют высокую механическую и коллоидную стабильность и хорошо удерживаются на поверхностях зубьев.

В металлургии наибольшее распространение получили битумная смазка ОЗП-1 и смазка, содержащая 80 % полугудрона, 3...5 % технического жира (саломас) и 15...18 % нефтяного битума № 4. Допускается в качестве заменителя использовать нигрол или смесь полугудрона (90 %) и графита (10 %). Когда для смазки открытых зубчатых передач применяют централизованную систему смазки, то используют промышленную смазку типа ИП-1.

По номограмме «б» на рисунке 14 находим вязкость минерального масла при эталонной температуре (40, 50 или 100°C)

На выбор марки минерального масла для зубчатых передач оказывают влияние: температурный режим (50-130°C), окружная скорость, нормальные контактные напряжения в зоне контакта, твердость и состояние контактирующих поверхностей.

Как правило, для легко- и средненагруженных зубчатых передач применяют промышленные масла без присадок.

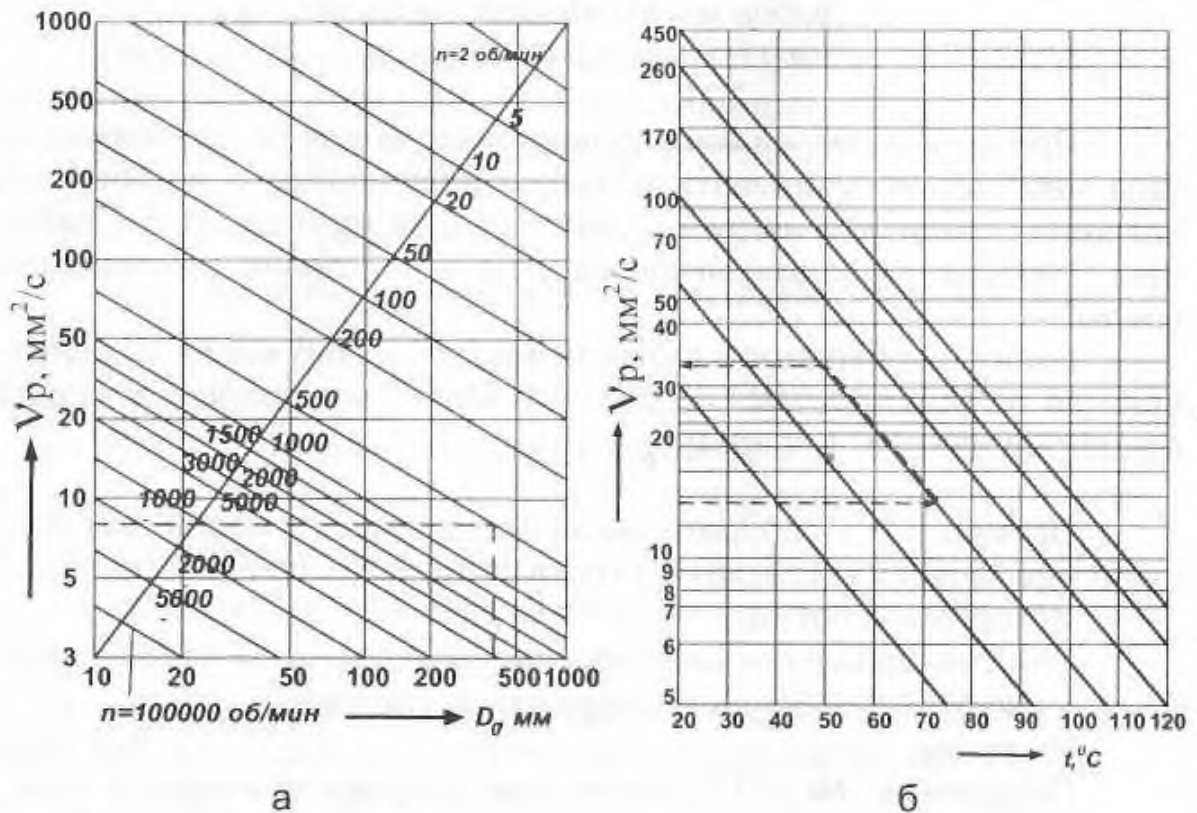


Рисунок 14 - Номограммы для выбора масла с вязкостью, соответствующей заданным условиям эксплуатации [1]

В легконагруженных зубчатых зацеплениях нормальные контактные напряжения не превышают 800 МПа при окружной скорости до 100 м/с, в средне-нагруженных зубчатых зацеплениях – соответственно 1200 МПа и 10-15 м/с. Для более тяжелых условий работы используют индустриальные масла с противоизносными и противозадирными присадками таблица П.Б.2.

Определение необходимой вязкости минерального масла для стальных зубчатых передач производится по графику на рисунке 15. В зависимости от параметра χ

$$\chi = \frac{HV \cdot p_{\max}^2}{v \cdot 10^5}, \quad (18)$$

где HV - твердость по Виккерсу, МПа;

p_{\max} – максимальное нормальное контактное напряжение, МПа;

v – окружная скорость, м/с.

Для нахождения твердости по Виккерсу, зная значения твердости по Роквеллу, можно пользоваться зависимостью:

$$HV = 1,86 \cdot 10^{-6} \cdot (110 - \text{HRC})^{-2}. \quad (19)$$

Наибольшее нормальное контактное напряжение для:
цилиндрических прямозубых зацеплений:

$$p_{\max}^2 = 9,5 \cdot 10^4 (u + 1)^3 \cdot K \cdot M_k / (u^2 \cdot A^2 \cdot b), \quad (20)$$

цилиндрических косозубых и шевронных зацеплений:

$$p_{\max}^2 = 7,5 \cdot 10^4 (u + 1)^3 \cdot K \cdot M_k / (u^2 \cdot A^2 \cdot b), \quad (21)$$

конических зацеплений:

$$p_{\max}^2 = 5,3 \cdot 10^6 \cdot u \cdot K \cdot M_k / d_{\text{ек}}^3, \quad (22)$$

где A - межцентровое расстояние, м;

u - передаточное число;

b - ширина зубчатого венца, м;

$d_{\text{ек}}$ - диаметр внешней делительной окружности (на дополнительном конусе), м;

K – коэффициент, равный 1,3...1,5 (меньшие значения следует выбирать при расположении колес на валах, близком к симметричному, большие значения – при несимметричном расположении колеса);

M_k – крутящий момент на колесе, МН·м.

Верхний предел вязкости (рисунок 15) принимается при следующих условиях:

- изготовление обеих зацепляющихся шестерен из одной марки или хотя бы одной из шестерен из никелевой или хромоникелевой стали со сквозной закалкой;

- работа передачи с ударными нагрузками;

- температура окружающего воздуха выше 25°C.

Нижний предел (меньшее значение вязкости) принимается при:

- высокой точности обработки шестерен (не менее 6-й степени точности);

- температура окружающего воздуха ниже 10°C;

- фосфатированной или сульфидированной шестерни;

- параметре $\chi > 100$.

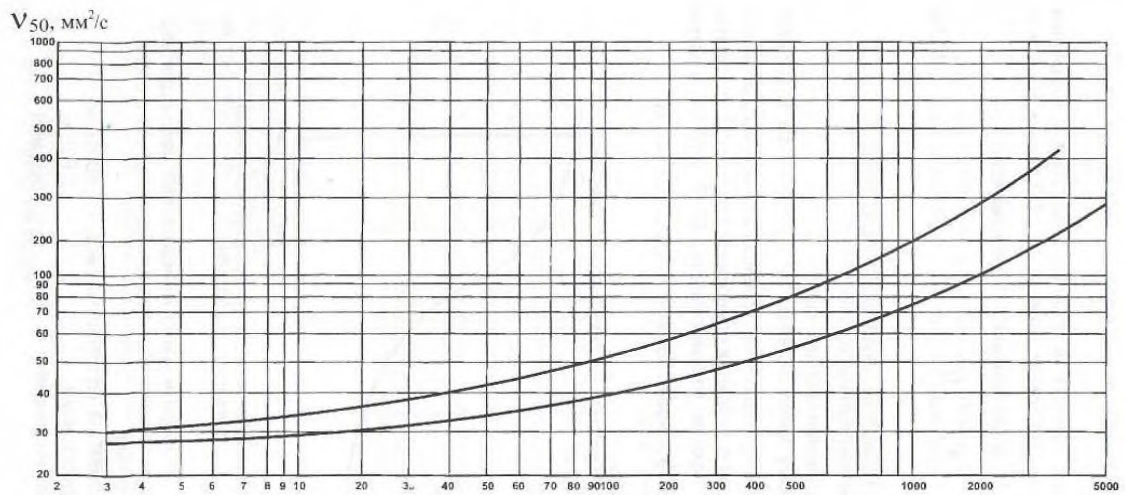


Рисунок 15 – Зависимость вязкости минерального масла от параметра χ [1]

13.4 Выбор марки минерального масла для червячных и глобоидных передач

При смазке червячных и глобоидных передач чистыми нефтяными маслами рекомендуемые значения вязкости можно определить по графику, приведенному на рисунке 16, в зависимости от параметра χ :

$$\chi = 10^3 \cdot (\sigma_H)^2 / V_t, \quad (23)$$

где σ_H - наибольшее контактное напряжение, МПа;

V_t - окружная скорость, м/с.

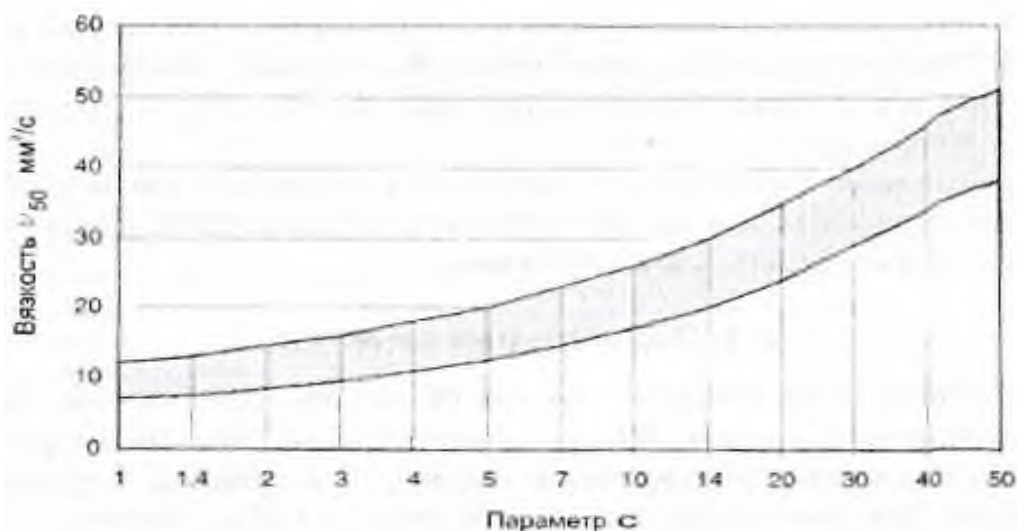


Рисунок 16 - Зависимость кинематической вязкости V_{50} минерального масла от параметра χ для червячных передач [4]

При смазке червячных передач легированными марками масел рекомендуе-

мые значения кинематической вязкости можно определить по таблице 11 в зависимости от условий работы и окружной скорости.

Таблица 11 - Рекомендуемые способы смазки и значения кинематической вязкости масел V_{50} (V_{100}), сСт для смазки червячных передач [4]

Характеристики передачи	Кинематическая вязкость масел V_{50} (V_{100}), сСт; условия работы и способ смазки при скорости скольжения $V_{ск}$, м/с					
	< 1	1...2,5	2,5...5	5...10	10...15	15...25
Вязкость	450(53)	270(34)	180(22)	120(14)	85	60
Условия работы	Тяжелые	Тяжелые	Средние	Средние	-	-
Способ смазки	Окунанием	Окунанием	Окунанием или струйная	Окунанием или струйная	Струйная (давление 0,07 МПа)	Струйная (давление 0,2 МПа)

Для тяжело нагруженных глобоидных передач, особенно в начальный период эксплуатации, наиболее предпочтительной минеральной смазкой является цилиндрическое тяжелое масло 52 (вапор) с кинематической вязкостью $V_{100} = 45...60$ сСт; однако по мере приработки допускается переходить на менее вязкое масло с кинематической вязкостью $V_{100} = 60...70$ сСт.

Для легко нагруженных червячных редукторов в начальный период эксплуатации рекомендуется применять масла с кинематической вязкостью при рабочей температуре, равной 10...20 сСт, например, нигрол, АК-6 и др.

В тихоходных червячных и глобоидных передачах целесообразно использовать пластичные смазки с противозадирными добавками.

Необходимую вязкость минерального масла для червячных передач определяют по номограмме на рисунке 17 в зависимости от отношения K_s/v , определяемого из зависимости:

$$K_s/v = M/A^2 \cdot n, \quad (24)$$

где M - крутящий момент на червячном колесе, Н·м;

A - межосевое расстояние, м;

n - частота вращения червяка, мин⁻¹.

По найденному значению вязкости v_{40} при $t = 40$ °С выбирают марку минерального масла. Как правило, вязкость высоковязких минеральных масел в таб-

лицах приводится при $t = 100 \text{ }^\circ\text{C}$. Поэтому вязкость $\nu_{t=100}$ находят из зависимостей 15-17, а затем из таблиц П.Б.3, П.Б.4 приложения выбирают марку минерального масла.

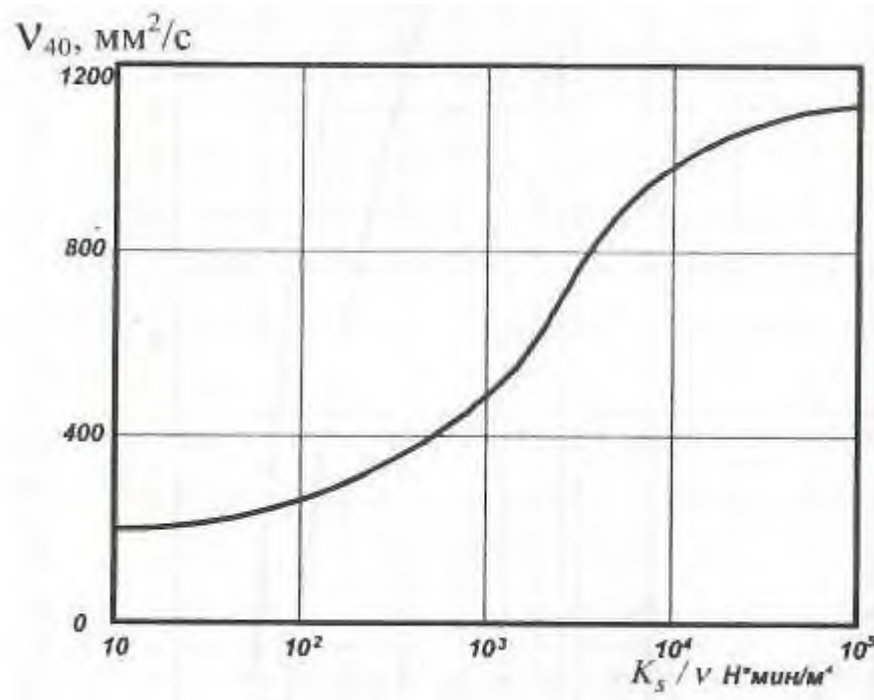


Рисунок 17 – Определение вязкости минерального масла для червячных передач [1]

13.5 Выбор смазочных материалов для реечных передач

Для смазки открытых реечных передач рекомендуется применять пластичные смазочные материалы, основанные на кальциевых, комплексных кальциевых или алюминиевых мылах и которые содержат антифрикционные добавки и вязкие битумные композиции. Эти смазки имеют высокую механическую и коллоидную стабильность и хорошо удерживаются на поверхностях зубьев.

В металлургии наибольшее распространение получили битумная смазка ОЗП-1 и смазка, содержащая 80 % полугудрона, 3...5 % технического жира (саломас) и 15...18 % нефтяного битума № 4. Допускается в качестве заменителя использовать нигрол или смесь полугудрона (90 %) и графита (10 %).

13.6 Выбор смазочных материалов для зубчатых муфт

Для смазки зубчатых муфт наибольшее распространение получили минеральные масла: цилиндрическое-52 (вапор), цилиндрическое-38, нигрол и др. При заправке муфты уровень масла соответствует погружению нижних зубьев. При невозможности предотвратить утечки жидких масел применяют те же пластичные смазочные материалы, которые рекомендованы для открытых зубчатых передач; на практике часто применяется битумная смазка ОЗП-1.

13.7 Выбор смазочных материалов для цепных передач

Если в окружающем воздухе отсутствуют абразивные частицы, то целесообразно применять минеральные масла, для выбора сорта которых можно воспользоваться рекомендациями таблицы 12.

В запыленной атмосфере в целях увеличения срока службы цепных передач обычно применяют пластичные смазки:

- солидол С (при работе в нормальных условиях);
- литол, фиол (при повышенных температурах (до 120 °С));
- смесь солидола С (90 %) и графита (10 %) (в грузовых цепях);
- графитную смазку УСс-А (в грубых цепных передачах).

Таблица 12 - Рекомендации по применению минеральных масел для смазки цепных передач в зависимости от условий работы [4]

Окружная скорость, м/с	Наименование масла при рабочей температуре, °С			
	<40 °С		40...75 °С	
	Вид смазки			
	ручная	капельная	масляная ванна	поливание
<2,5	АКп-10		Индустриальное-45	
2,5...8,0	Цилиндрическое-11		АКп-10	
8...10			Цилиндрическое-11	
> 10			Цилиндрическое-11	Полугудрон

13.8 Выбор смазочных материалов для узлов трения, работающих при высоких температурах

Минеральные масла применяются, как правило, для смазки узлов трения, работающих при температурах до 100 °С. Это связано с тем, что при температуре более 150 °С минеральные масла разрушаются, и поэтому они не могут использоваться в качестве смазочных материалов. Синтетические масла обладают более высокими рабочими температурами: например, фторные и фторхлоруглеродные масла могут эффективно применяться до температур 300...400 °С и выше.

Высокотемпературные пластичные смазки получают загущением синтетических масел. В металлургии наиболее распространены пластичные смазки ВНИИНП-246 (до 200 °С), ВНИИНП-231 (до 250 °С), ПФМС-4С (до 300 °С).

В узлах трения, работающих при более высоких температурах, используются пасты на основе сульфида молибдена ВНИИНП-225 (до 350 °С) и ВНИИНП-2210 (до 400 °С). Твердые смазки на основе графита или сульфида молибдена (ВНИИНП-213 и ВНИИНП-229) применяются до температуры 350 °С; из дисульфида вольфрама, нитрида бора, оксида свинца и двухсернистого молибдена – до 500...540 °С; из фталоцианаина и молибденовокислого натрия – 820 °С; на основе йодистого и фтористого кадмия – до 1050 °С.

При температурах до 200...300 °С и низких удельных давлениях в условиях сухого трения применяют самосмазывающие материалы типа фторопласт-4, фторопласт-40, АМАН-1, АМАН-4 и др.

13.9 Выбор смазочных материалов для узлов трения, работающих при низких температурах

Минеральные масла при отрицательных температурах, как правило, имеют значительную вязкость. Поэтому они не используются при эксплуатации машин и агрегатов в условиях низких температур. Синтетические масла (полигликолевые, эфирные и полисилоксановые масла, ВНИИНП-7, смазка №6 и др.) обеспечивают возможность запуска механизмов и машин, а также надежную работу узлов трения в режиме жидкостного трения при температурах до -60...-90 °С.

В тяжело нагруженных узлах трения, работающих при пониженных температурах на открытом воздухе, наиболее часто используются пластичные смазочные материалы: Униол-3, Северол-1 (до -50 °С), ЦИАТИМ-201 и ВНИИНП-231 (до -60 °С), ВНИИНП-231 (до -80 °С). При более низких температурах (до -250 °С) следует применять твердые смазки типа ВНИИНП-213 и ВНИИНП-229, а также графит. До температуры -180 °С работоспособен дисульфид молибдена.

При низких давлениях в условиях агрессивных сред и сухого трения эффективно использование самосмазывающихся и металлокерамических материалов: фторопласт-40, АМАН-1, АМАН-4 (до -100 °С); фторопласт-3 (до -195 °С); фторопласт-4, металлокерамика с фторопластом и фторопласт с наполнителем (до -269 °С).

14 Примеры решения задач

Пример 1.

Подобрать марку минерального масла для подшипников скольжения шестеренной реверсивной клетки кварто 800/1400x2800.

Исходные условия:

момент прокатки	- 2 МН м;
частота вращения валков	- 50 - 120 об/мин;
длина подшипника	- 0,82 м;
диаметр подшипника	- 0,6 м;
межцентровое расстояние	- 1000 мм;
материал вала	- сталь 40ХН;
твердость поверхности вала	- 50 НРС;
материал подшипника	- Б16;
температура масла, входящего в подшипник	- 50 °С;
посадка подшипника	- Н8/е8.

Решение:

Определим необходимую величину вязкости минерального масла при рабочей температуре из зависимости (8):

$$\eta_{t=60} = So(p_a/\omega)\varphi^2 = 0,44(3 \cdot 10^6/8,4) \cdot (3,9 \cdot 10^{-4})^2 = 24 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} = 24 \text{ мПа} \cdot \text{с}.$$

Находим значения входящих в зависимость величин для $l/d = 0,82 / 0,6 = 1,37$.

$$So = 0,35(0,43l/d + 0,24)^{-1} = 0,35(0,43 \cdot 1,37 + 0,24)^{-1} = 0,44.$$

Номинальное давление в подшипнике

$$p_a = (M \cdot k)/(d_{ш} \cdot d \cdot l \cdot \cos \alpha) = (2 \cdot 0,7)/(1 \cdot 0,6 \cdot 0,82 \cdot \cos 20) = 3 \text{ МПа},$$

где M - момент прокатки, МН;

$d_{ш}$ - диаметр шестеренного валка, м;

α - угол зацепления, $\alpha = 20^\circ$;

k - коэффициент перераспределения момента, передаваемого через зубчатое зацепление (изменяется в пределах 0,5...1,0).

$$\omega = \pi \cdot n/30 = \pi \cdot 80/30 = 8,34 \text{ с}^{-1}.$$

Среднее значение относительного диаметрального зазора для посадки Ø600 Н8/е8

$$\psi = (0,329 + 0,135)/2 \cdot 600 = 3,9 \cdot 10^{-4}.$$

Определяем рабочую температуру из зависимости (10):

$$t_p = t_{hx} + a \cdot p / 2d^2 = 50 + 4,47 \cdot 1,48 / 2 \cdot 0,6^2 = 60^\circ\text{C}.$$

Из зависимости (13):

$$a = 11,26(1,37)^{-1,8} \cdot (2,8 - 1,37)^{-1} = 4,47.$$

Нагрузка на подшипник

$$P = p_a \cdot d \cdot l = 3 \cdot 0,82 \cdot 0,6 = 1,48 \text{ МН}.$$

Находим кинематическую вязкость минерального масла при эталонных температурах 40, 50 °С:

$$v_{t=60} = \eta_{t=60} / \rho = 24 / 0,9 = 26,7 \text{ мм}^2/\text{с};$$

$$v_{50} = v_{60} \cdot (60/50)^n = 26,7 \cdot (60/50)^{2,37} = 41,1 \text{ мм}^2/\text{с};$$

$$n = (1 + \lg v) / (2,8 - \lg t_0) = (1 + \lg 26,7) / (2,8 - \lg 60) = 2,37;$$

$$v_{40} = 26,7 \cdot (60/40)^{2,37} = 75 \text{ мм}^2/\text{с};$$

Из таблицы 1 прил. Б выбираем И-40 А или в соответствии с ГОСТ 17479.4-87 И-Г-А-68.

Пример 2.

Подобрать марку минерального масла для подшипников качения шестеренной клетки стана 1700 горячей прокатки.

Исходные условия:

Частота вращения шестеренных валков - 500 об/мин; подшипник - № 97172; рабочая температура подшипника - 60°С.

Решение:

Подшипник № 97172 роликовый, радиально-упорный, конический, двухрядный с наружным диаметром $D = 540$ мм. Тогда средний диаметр

$$D_0 = (d+D)/2 = (360+540) / 2 = 450 \text{ мм}.$$

По номограмме «а» на рисунке 14 из точки, соответствующей $D_0 = 450$ мм проводим вертикаль до пересечения с наклонной линией $n = 500$ об/мин. Из точки пересечения проводим горизонтальную линию до пересечения с осью ординат. Получаем

$$v_{t=60} = 12 \text{ мм}^2/\text{с}.$$

По номограмме «б» рисунок 14 находим вязкость минерального масла при эталонной температуре (40, 50 или 100°С)

Из точки на оси ординат, равной 12 мм²/с, проводим горизонталь до пересечения с вертикалью, проведенной из точки 60°С.

Из точки пересечения проводим прямую, параллельную ближайшей наклонной прямой, до пересечения с вертикалью, проведенной из точки (40, 50 или 100°С).

Из полученной точки проводим горизонталь до пересечения с осью ординат. Находим:

$$v_{t=50} = 18 \text{ мм}^2/\text{с}; \quad v_{t=40} = 28 \text{ мм}^2/\text{с}.$$

Из табл. 1 приложения выбираем марку минерального масла И-20 А ГОСТ 20799-88.

Пример 3. Подобрать марку минерального масла для зубчатого зацепления шестеренной клетки кварто 800 / 1400 х 2800.

Исходные данные:

момент прокатки	- 2 МН м;
межцентровое расстояние	- 1000 мм;
частота вращения	- 50-120 об/мин;
длина шестеренного валка	- 1700 мм;
материал шестеренных валков	- сталь 40 ХН;
твердость поверхности зубьев	- HRC 50.

Решение:

Определяем параметр x

$$x = \frac{HV \cdot P_{\max}^2}{v \cdot 10^5} = \frac{517 \cdot 4,6 \cdot 10^5}{2,62 \cdot 10^5} = 907.$$

$$HV = 1,86 \cdot 10^6 (110 - HRC)^{-2} = 1,86 \cdot 10^6 (110 - 50)^{-2} = 517.$$

Для шевронных зацеплений

$$P_{\max}^2 = 7,5 \cdot 10^4 (u+1)^3 \cdot k \cdot M_k / (u^2 \cdot A^2 \cdot b) = 7,5 \cdot 10^4 \cdot 2^3 \cdot 1,3 \cdot 1 / (1^2 \cdot 1^2 \cdot 1,7) = 4,65 \cdot 10^5.$$

$$v = \pi d n / 60 = (3,14 \cdot 1 \cdot 50) / 60 = 2,6 \text{ м/с}.$$

Так как шестеренные валки изготовлены из хромоникелевой стали, то значение вязкости находим по верхней кривой.

Значению параметра $x = 907$ соответствует значение кинематической вязкости $v_{50} = 190 \text{ мм}^2/\text{с}$.

Найдем значения кинематической вязкости при эталонных температурах 100 и 40 °С.

$$v_{100} = v_{50} (50/100)^n = 190 \cdot 0,5^{2,91} = 25 \text{ мм}^2/\text{с};$$

$$n = (1 + \lg v_{50}) / (2,8 - \lg t_p) = (1 + \lg 190) / (2,8 - \lg 50) = 2,91;$$

$$v_{40} = v_{50} (50/40)^n = 190 \cdot 1,25^{2,91} = 364 \text{ мм}^2/\text{с}.$$

Так как контактные нормальные напряжения

$P_{\max} = \sqrt{4,6 \cdot 10^5} = 678 \text{ МПа} < 800 \text{ МПа}$ то выбираем минеральное масло без присадок П-28 ГОСТ 6480 -78 или ИГП-182 ТУ 38 101413-78. По новой классификации И-Т-А- 460 или И-Т-С- 320.

Пример 4.

Подобрать марку минерального масла для червячного редуктора механизма подъема штабелировочного стола.

Исходные данные:

крутящий момент на червячном колесе	- 50 кН м;
межосевое расстояние	- 0,625 м;
частота вращения червяка	- 560 мин ⁻¹ .

Решение:

Определяем параметр K_s / ν :

$$K_s / \nu = M / A^3 n = 50 \cdot 10^3 / 0,625^3 \cdot 560 = 4023.$$

По номограмме рисунок 17 находим $\nu_{40} = 570 \text{ мм}^2/\text{с}$.

Для высоковязких минеральных масел в таблице значения вязкости даны при эталонной температуре $t_{\text{эТ}} = 100^\circ\text{С}$.

Находим

$$\nu_{100} = \nu_{40} (40/100)^n = 570 \cdot (40/100)^{3,14} = 32 \text{ мм}^2/\text{с};$$

$$n = (1 + \lg \nu_{40}) / (2,8 - \lg 40) = 3,14.$$

Из табл. 3 приложения выбираем минеральное масло цилиндрическое - 38 ГОСТ 6411-76.

15 Задачи для выполнения контрольной работы/домашнего задания

Условия задач взяты из источника [1].

Каждая задача имеет четыре варианта (1, 2, 3, 4).

Первый вариант (1.1) – исходные условия задачи.

Второй вариант (1.2) – в исходных условиях скорость скольжения или частота вращения принимаются меньшими в два раза.

Третий вариант (1.3) – в исходных условиях скорость скольжения или частота вращения принимаются меньшими в 1,5 раза, а нагрузка в контакте – в 1,5 раза большей.

Четвертый вариант (1.4) – в исходных условиях скорость скольжения или частота вращения принимаются меньшими в три раза.

Задача 1. Подобрать смазочный материал для подшипников скольжения клетки Дуо сортового стана «350».

Исходные данные:

давление металла на валки	- 0,7 МН;
частота вращения валков	- 600 об/мин;
внутренний диаметр подшипника	- 250 мм;
длина подшипника	- 200 мм;
посадка подшипника	- E9/h8.

Задача 2. Подобрать смазочный материал для подшипников качения № 777752 клетки кварто 500/1300x1200.

Исходные данные:

давление металла на валки	- 20 МН;
скорость прокатки	- 30 м/с;
смещение оси рабочих валков относительно опорных	- 10 мм.

Задача 3. Подобрать смазочный материал для ПЖТ опорных валков со следующими параметрами: $d=900$ мм, $l=700$ мм, посадка подшипника E8/h8.

Исходные данные:

давление металла на валки	- 20 МН;
скорость прокатки	- 30 м/с;
смещение оси рабочих валков относительно опорных	- 10 мм.

Задача 4. Подобрать смазочный материал для ПЖТ валков клетки Дуо проволочного стана «250».

Исходные данные:

давление металла на валки	- 0,4 МН;
скорость прокатки	- 40 м/с;
внутренний диаметр втулки	- 180 мм;
длина подшипника	- 150 мм;
посадка подшипника	- E9/h8.

Задача 5. Подобрать смазочный материал для двухступенчатой цилиндрической передачи нажимного механизма клетки кварто 800/1500x2800.

Исходные данные:

передаваемая мощность	- 100 кВт;
частота вращения шестерни I ступени	- 730 об/мин;
межцентровое расстояние I ступени	- 190,9 мм;
межцентровое расстояние II ступени	- 1092 мм;
передаточное число I ступени	- 5,35;
передаточное число II ступени	- 2,15;
ширина зубчатого венца I ступени	- 195 мм;
ширина зубчатого венца II ступени	- 280 мм;
материал зубчатых колес	- Сталь 40ХН.

Задача 6. Подобрать смазочный материал для комбинированного редуктора шестеренной клетки дрессировочного стана кварто 600/1500x2500.

Исходные данные:

передаваемая мощность	- 260 кВт;
наибольший крутящий момент на выходных шестеренных валках	- 2x25 кН·м;
I ступень – $z_1 = 37, z_2 = 104, m_H = 7 \text{ мм}, m_S = 7,07 \text{ мм}, \beta = 8^\circ 06' 34''$;	
II ступень – $z_1 = 35, z_2 = 124, m_H = 10 \text{ мм}, m_S = 10,1 \text{ мм}, \beta = 8^\circ 06' 34''$;	
Шестеренная пара - $z_1 = z_2 = 25, m_S = 20 \text{ мм}, \beta = 30^\circ$;	
скорость прокатки	- 2,5 м/с;
ширина зубчатого венца I ступени	- 200 мм;
ширина зубчатого венца II ступени	- 320 мм;
ширина зубчатого венца III ступени	- 400 мм;
I ступень	
материал шестерни	- Сталь 40ХН
материал колеса	- Сталь 30ХГСН
II ступень	

материал шестерни	- Сталь 40ХН
материал колеса	- Сталь 30ХГСН
III ступень	
материал шестеренных валков	- Сталь 40ХН.

Задача 7. Подобрать смазочный материал для подшипников скольжения эксцентрик-ового вала ножниц усилием 20 МН слябинга «1150».

Исходные данные:

число полных ходов в минуту	- 12;
диаметр подшипника	- 1200 мм;
длина подшипника	- 450 мм;
температура подшипника	- 80°С.

Задача 8. Подобрать смазочный материал для подшипников качения № 2097152 барабана летучих ножниц 0,25 – 0,6 x 1000 мм.

Исходные данные:

скорость нарезаемой полосы	- 1,5-5,0 м/с;
диаметр окружности режущей части ножей	- 500 мм.

Задача 9. Подобрать смазочный материал для подшипников качения № 777/620 рабочих валков клетки кварто 1100/1600x3200.

Исходные данные:

давление металла на валки	- 30 МН;
скорость прокатки	- 1 м/с;
температура подшипника	- 70°С;
смещение оси рабочих валков относительно опорных	- 10 мм.

Задача 10. Подобрать смазочный материал для подшипников качения № 77788 клетки Дуо 850x2000.

Исходные данные:

давление металла на валки	- 7 МН;
скорость прокатки	- 1 м/с.

Задача 11. Подобрать смазочный материал для ПЖТ опорных валков клетки кварто 1100/1600x3200.

Исходные данные:

давление металла на валки	- 30 МН;
скорость прокатки	- 1 м/с;

внутренний диаметр втулки подшипника	- 1000 мм;
длина подшипника	- 750 мм;
посадка подшипника	- E9/h8.

Задача 12. Подобрать смазочный материал для подшипников качения № 771/500 валков вертикальной клетки широкополосного стана «1700».

Исходные данные:

давление металла на валки	- 2 МН;
частота вращения валков	- 20 об/мин;
температура подшипника	- 70 °С.

Задача 13. Подобрать смазочный материал для подшипников качения № 1077756 рабочих валков клетки кварто 600/1500x2500 холодной прокатки.

Исходные данные:

давление металла на валки	- 35 МН;
скорость прокатки	- 21 м/с;
смещение оси рабочих валков относительно опорных	- 6 мм.
температура подшипника	- 60 °С.

Задача 14. Подобрать смазочный материал для подшипников качения № 777/660 валков клетки кварто 500/130x1700.

Исходные данные:

давление металла на валки	- 18 МН;
скорость прокатки	- 7 м/с;
температура подшипника	- 60°С.

Задача 15. Подобрать смазочный материал для подшипника скольжения в устройстве уравнивания шпинделей чистовой клетки широкополосного стана «2000».

Исходные данные:

масса шпинделя	- 15850 кг;
расстояние от оси головки шпинделя со стороны шестеренной клетки до опорного подшипника	- 3200 мм;
длина шпинделя	- 800 мм;
частота вращения шпинделя	- 120 об/мин.;
внутренний диаметр втулки подшипника	- 470 мм;
посадка подшипника	- E9/h8
коэффициент переуравнивания шпинделей	- 1,2.

Задача 16. Подобрать смазочный материал для вкладышей головки шпинделей чистовой клетки широкополосного стана «2000».

Исходные данные:

передаваемый крутящий момент	- 2 кН·м;
максимальный угол наклона шпинделя	- 1°20';
длина шпинделя	- 8000 мм;
длина контактной поверхности вкладышей	- 250 мм;
диаметр контактной поверхности вкладышей	- 550 мм;
ширина вкладышей	- 300 мм;
материал вкладышей	- БрАЖМц 10-3-1,5.

Задача 17. Подобрать смазочный материал для подшипников качения № 1097992 шестеренной клетки с межосевым расстоянием $A = 700$ мм.

Исходные данные:

передаваемый крутящий момент	- 0,5 кН·м;
частота вращения	- 400 об/мин;

Задача 18. Подобрать смазочный материал для подшипников качения № 97172 шестеренной клетки $A = 650$ мм клетки кварто 660/1300x1700.

Исходные данные:

максимальный крутящий момент на приводном валу	- 100 кН·м;
частота вращения	- 500 об/мин.;
длина шестеренного валка	- 1500 мм;
материал шестеренных валков	- Сталь 60Х2МФ.

Задача 19. Подобрать смазочный материал для зубчатого зацепления шестеренной клетки $A = 650$ мм рабочей клетки кварто 660/1300x1700.

Исходные данные:

максимальный крутящий момент на приводном валу	- 100 кН·м;
частота вращения	- 500 об/мин.;
длина шестеренного валка	- 1500 мм;
материал шестеренных валков	- Сталь 0Х2МФ.

Задача 20. Подобрать смазочный материал для цилиндрического двухступенчатого редуктора ЦД-4000.

Исходные данные:

крутящий момент на ведущем валу	- 100 кН·м;
---------------------------------	-------------

частота вращения	- 500 об/мин;
I ступень – $z_1 = 32, z_2 = 168, m_H = 14$ мм, $m_S = 16$;	
II ступень – $z_1 = 36, z_2 = 164, m_H = 24$ мм, $\beta=30^\circ$;	
ширина зубчатого венца I ступени	- 600 мм;
ширина зубчатого венца II ступени	-950 мм.

Задача 21. Подобрать смазочный материал для вкладышей универсального шпинделя клетки кварто 600/1500x2500 стана холодной прокатки.

Исходные данные:

передаваемый крутящий момент	- 200 кН·м;
частота вращения шпинделя	- 800 об/мин;
максимальный угол наклона шпинделя	- $0^\circ 21'$;
длина контактной поверхности вкладышей	- 150 мм;
диаметр контактной поверхности вкладышей	- 230 мм;
ширина контактной поверхности вкладышей	- 160 мм.

Задача 22. Подобрать смазочный материал для подшипников качения № 7616 универсального шпинделя дрессировочного стана кварто 600/1500x2500.

Исходные данные:

передаваемый крутящий момент	- 50 кН·м;
частота вращения шпинделя	- 800 об/мин;
расстояние между подшипниками вилки	- 240 мм;
максимальный угол наклона шпинделя	- 8° ;
температура подшипника	- 50°C .

Задача 23. Подобрать смазочный материал для зубчатого зацепления шестеренной клетки с межцентровым расстоянием $A = 1000$ мм.

Исходные данные:

крутящий момент со стороны электродвигателя	- 100 кН·м;
частота вращения	- 50-120 об/мин;
длина шестеренного валка	- 1700 мм;
материал шестеренных валков	- Сталь 40ХН.

Задача 24. Подобрать смазочный материал для зубчатой цилиндрической передачи двухступенчатой цилиндрической передачи нажимного механизма блюминга «1150».

Исходные данные:

передаваемая мощность	- 270 кВт;
частота вращения шестерни I ступени	- 500 об/мин;

межцентровое расстояние I ступени	- 667 мм;
межцентровое расстояние II ступени	- 1092 мм;
передаточное число I ступени	- 4,5;
передаточное число II ступени	- 1,0;
ширина зубчатого венца I ступени	- 95 мм;
ширина зубчатого венца II ступени	- 190 мм;
материал зубчатых колес	- Сталь 35ХНВ.

Задача 25. Подобрать смазочный материал для подшипников качения № 2097152 ролика приемного рольганга слябинга «1150».

Исходные данные:

масса слитка	- 30 т;
окружная скорость роликов	- 1,5 м/с;
температура подшипника	- 90 °С.

Задача 26. Подобрать смазочный материал для двухступенчатой цилиндрической передачи привода роликов рольганга холодильника.

Исходные данные:

передаваемая мощность	- 45 кВт;
частота вращения ведущего вала I ступени	- 580 об/мин;
I ступень	
межцентровое расстояние	- 450 мм;
передаточное число	- 3,74;
ширина зубчатого венца	- 180 мм;
материал	- Сталь 40ХН;
II ступень	
межцентровое расстояние	- 480 мм;
передаточное число	- 1,61;
ширина зубчатого венца	- 200 мм;
материал зубчатых колес	- Сталь 40ХН.

Задача 27. Подобрать марку минерального масла для червячного редуктора механизма опрокидывания люльки слитковоза.

Исходные данные:

крутящий момент на червячном колесе	- 220 кН·м;
межосевое расстояние	- 0,6 м;
частота вращения червяка	- 300 мин ⁻¹ .

Задача 28. Подобрать марку минерального масла для глобоидного редуктора нажимного механизма блюминга «1500».

Исходные данные:

крутящий момент на глобоидном колесе

- 6 МН·м;

межосевое расстояние

- 0,9 м;

частота вращения глобоидного червяка

- 100 мин⁻¹.

16 Оформление домашнего задания/контрольной работы

Домашнее задание/контрольная работа по дисциплине «Состав и свойства смазок металлургического оборудования» должно содержать титульный лист, а также условия и решения четырех задач.

Титульный лист – первая страница домашнего задания/контрольной работы, содержащая наименование учебного заведения и кафедры, название дисциплины, фамилии и инициалы студента и преподавателя, сведения об индексе группы, в которой обучается студент. Перенос слов на титульном листе не допускается.

Текст условий и решений задач домашнего задания/контрольной работы по дисциплине «Состав и свойства смазок металлургического оборудования» должен быть напечатан на листах формата А4 (210×297 мм), на одной стороне листа белой бумаги, при этом каждая страница должна иметь поля следующих размеров: размер левого поля – 20 мм, правого поля – 10 мм, верхнего и нижнего полей – по 20 мм. Текст должен быть набран шрифтом Times New Roman, кеглем 14 с межстрочным интервалом 1,5. Кроме того, текст должен быть форматирован по ширине страницы с применением автоматического переноса слов и абзацным отступом первой строки 12,5 мм.

Все страницы текста, в том числе иллюстрации и приложения должны иметь сквозную нумерацию. Номера страниц проставляются арабскими цифрами посередине внизу страницы. Титульный лист включается в общую нумерацию страниц, но номер страницы на нем не проставляется.

17 Оценка выполнения домашнего задания/контрольной работы

Зачет по домашнему заданию/контрольной работе проставляется на основе результатов защиты обучающимся домашнего задания/контрольной работы. Должным образом выполненные и оформленные домашнее задание/контрольная работа регистрируются на кафедре в журнале учета и представляются на проверку руководителю домашнего задания/контрольной работы не позднее, чем за неделю до установленного срока защиты. Руководитель вносит в текст пояснительной записки свои замечания по домашнему заданию/контрольной работе, возвращает домашнее задание/контрольную работу на доработку с указанием причины или принимает решение о допуске студента к защите, делая об этом запись на титульном листе пояснительной записки домашнего задания/контрольной работы.

Защита домашнего задания/контрольной работы студентом производится путем ответов на вопросы преподавателя с обязательной записью ответов в краткой форме в «Листе устного опроса». Результатом защиты домашнего задания/контрольной работы являются оценки «зачтено» или «незачтено».

В случае дистанционного обучения студент должен зарегистрироваться на курс в LMS Canvas, используемый преимущественно для асинхронного взаимодействия между участниками образовательного процесса посредством сети «Интернет», ознакомиться с содержанием домашнего задания/контрольной работы, сроками сдачи, критериями оценки. В установленные сроки в рубрике «Задания» курса, созданного в LMS Canvas, студент должен выполнить домашнее задание/контрольную работу и подгрузить домашнее задание/контрольную работу для проверки в виде файла. Удобно называть файл работы следующим образом: название предмета (сокращенно), группа, ФИО, дата актуализации (при повторном размещении). Если работа содержит формулы и рисунки, то ее следует подгружать в pdf формате. Подгружаемая для проверки работа должна содержать все необходимые структурные элементы и быть оформлена в соответствии с требованиями. Преподаватель в течение установленного срока (не более десяти дней) проверяет работу и размещает в комментариях к заданию рецензию, в которой указывает как положительные стороны работы, так и замечания. При наличии в рецензии замечаний и рекомендаций, студент вносит поправки в работу и подгружает ее для проверки заново, следя при этом за сроками, в течение которых должно быть выполнено задание. При нарушении сроков, указанных преподавателем возможность подгрузить работу остается, но система выводит сообщение о нарушении сроков. По окончании семестра подгрузить работу не получится.

18 Перечень вопросов для защиты домашнего задания/контрольной работы

1. Назовите основные виды смазки.
2. Назовите основные виды смазочных материалов. Как они делятся по происхождению?
3. Какие требования предъявляются к смазочным материалам?
4. Назовите области применения различных видов смазочных материалов.
5. Какие достоинства и недостатки у жидких смазочных материалов?
6. В каких единицах измеряется динамическая и кинематическая вязкость масла?
7. Что такое условная вязкость?
8. Как зависит вязкость масла от температуры?
9. Что такое температурный коэффициент вязкости ТКВ?
10. Что такое индекс вязкости ИВ?
11. Чем определяется температурный диапазон применения масла?
12. Зачем в состав масла вводят присадки? Какие присадки Вы знаете?
13. Что входит в наименование индустриальных масел?
14. Какие достоинства и недостатки у пластичных смазочных материалов?
15. Как классифицируются пластичные смазочные материалы?
16. Назовите основные свойства пластичных смазочных материалов.
17. Какие достоинства и недостатки у твердых смазочных материалов?
18. Какие твердые смазочные материалы Вы знаете?
19. Из каких соображений осуществляют выбор смазочных материалов для закрытых зубчатых передач?
20. Из каких соображений осуществляют выбор смазочных материалов для открытых зубчатых передач?
21. Как осуществляется выбор смазочных материалов для подшипников качения?
22. В каких случаях для подшипников скольжения применяют твердые смазки?
23. В каких случаях для подшипников скольжения применяют пластичные смазки?
24. В каких случаях для подшипников скольжения применяют минеральные масла?
25. Какие смазочные материалы рекомендуются для смазки зубчатых муфт?
26. Какие смазочные материалы рекомендуются для смазки цепных передач?

27. Какие смазочные материалы рекомендуются для узлов трения, работающих при высоких температурах?

28. Какие смазочные материалы рекомендуются для узлов трения, работающих при низких температурах?

19 Рекомендуемый перечень литературы для выполнения домашнего задания/контрольной работы

1. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Справочник / И.Г. Анисимов [и др.]; под ред. В.М. Школьников. – М.: Техноинформ, 1999. 596 с.
2. Вавилов М.П. Смазка металлургического оборудования. – М.: Машгиз, 1954. 175 с.
3. Виппер А.Б., Виленкин А.В., Гайснер Д.А. Зарубежные масла и присадки. – М.: Химия, 1981. 192 с.
4. Гаркунов Д.Н., Мельников Э.Л., Гаврилюк В.С. Триботехника. – М.: КНОРУС, 2017. 408 с.
5. Гедык П.К., Калашникова М.И. Смазка металлургического оборудования. – М.: Металлургия, 1971. 376 с.
6. Епифанцев Ю.А. Смазка металлургического оборудования. - Новокузнецк: СибГИУ, 2008. 53 с.
7. Жиркин Ю.В. Надежность, эксплуатация и ремонт металлургических машин. – М.: Теплотехник, 2009. 336 с.
8. Заславский Ю.С. Трибология смазочных материалов. – М.: Химия, 1991. 239 с.
9. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин / В. Д. Зозуля [и др.]. – К.: Наук. думка, 1990. 264 с.
10. Иоффе А.М., Мазур И.А. Гидравлическое, пневматическое и смазочное оборудование металлургических цехов. – М.: Metallurgizdat, 2009. 260 с.
11. Касаткин Н.Л. Монтаж, ремонт и смазка металлургического оборудования. – М.: Metallurgizdat, 1961. 340 с.
12. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. В 2 т. / Под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алисина. – М.: Машиностроение, 1978. Т. 1. 400 с.
13. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. В 2 т. / Под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алисина. – М.: Машиностроение, 1979. Т. 2. 358 с.
14. Розенберг Ю.А. Влияние смазочных масел на надежность и долговечность машин. – М.: Машиностроение, 1970. 312 с.
15. Сеницын В.В. Пластичные смазки в СССР: Справочник. – М.: Химия, 1984. 192 с.
16. Сеницын В.В. Пластичные смазки за рубежом: Справочник. – М.: Химия, 1983. 328 с.
17. Сеницын В.В. Подбор и применение пластичных смазок. – М.: Химия, 1969. 376 с.

18. Шальнев В.Г. Смазка металлургического оборудования. – К.: Машгиз, 290 с.

19. Товарные нефтепродукты, свойства и применение. Справочник / под ред. В.М. Школьникова. – М.: Химия, 1978. 472 с.

Список использованных источников

1. Жиркин Ю.В. Надежность, эксплуатация и ремонт металлургических машин / Ю.В. Жиркин. – М.: Теплотехник, 2009. 336 с.
2. Мышкин Н.К., Петроковец М.И. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 368 с.
3. Гаркунов Д.Н. Триботехника / Д.Н. Гаркунов, Э.Л. Мельников, В.С. Гаврилюк. – М.: КНОРУС, 2017. 408 с.
4. Чиченев Н.А., Зарапин А.Ю., Горбатюк С.М. Надежность, эксплуатация и ремонт металлургических машин и оборудования: Курс лекций. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2008. 102 с.
5. А.с. СССР № 179409 СССР МПК С10М 125/04. Металлоплакирующая смазка / Д.Н. Гаркунов, В.Н. Лозовский, В.Г. Шимановский. - № 777978/22-2; заявл. 14.05.1962; опубл. 08.02.1966, Бюл. № 5. 1 с.

Приложение А
Образец титульного листа

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
НОВОТРОИЦКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра металлургических технологий и оборудования

ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ/КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

по дисциплине «Состав и свойства смазки металлургических машин»

Тема _____

Студент группы _____

Руководитель домашнего задания/контрольной работы _____

Приложение Б

Сведения о смазках

Таблица П.Б.1 – Основные эксплуатационные свойства индустриальных масел [1]

Ранее принятое обозначение	Вязкость при $t_{37}=50^{\circ}\text{C}$, мм ² /с	Обозначение масла по ГОСТ 17479.4-87	Вязкость при $t_{37}=40^{\circ}\text{C}$, мм ² /с	Характеристики масла	Индекс вязкости ИВ	Индекс задира Из	Нагрузка сваривания P_c , Н	Диаметр пятна износа (196 Н, 1ч), мм
И-12А	10-14	И-Л-А-22	13-17	ГОСТ 20799-88	85			
И-20А	17-23	И-Г-А-32	29-35	ГОСТ 20799-88	85			
И-30А	28-30	И-Г-А-46	41-51	ГОСТ 20799-88	85			
И-40А	35-45	И-Г-А-68	61-75	ГОСТ 20799-88	85			
И-50А	47-55	И-Г-А-100	90-110	ГОСТ 20799-88	85			
ИНС _п -65	60-70	И-Н-Е-100	90-110	ТУ 38.101672-77	90	34	2000	0,95
ИНС _п -110	100-120	И-Н-Е-220	198-242	ТУ 38.101672-77	90	36	2240	0,99
ИТП-200	216-240	И-Т-Д-460	414-506	ТУ 38.101292-79		55	3760	0,7
ИТП-300	304-357	И-Т-Д-680	612-748	ТУ 38.101292-79		55	3760	0,7
ИТП-500	470-620	И-Т-Д-1000	900-1100	ТУ 38.101450-76				0,45
ПС-28	$t=100^{\circ}\text{C}$, 26-30	И-Т-А-460	414-506	ГОСТ 12672-77	80			
П-40	$t=100^{\circ}\text{C}$, 32-44	И-Т-А-680	612-748	ТУ 38.101312-78	80			
ИР _п -40	33-40	И-Т-Д-68	61-75	ТУ 38.101451-78		40	3150	0,7
ИР _п -75	72-80	И-Т-Д-100	90-110	ТУ 38.101451-78		45	3350	0,9
ИР _п -150	120-140	И-Т-Д-220	198-242	ТУ 38.101451-78		50	3550	0,9
ИР _п -85	75-90	И-Т-Д-150	135-150	ТУ 38.101853-83	90	50	3350	0,5
ИСП-40	34-40	И-Т-Д-68	61-75	ТУ 38.101293-78		40	2660	0,45
ИСП-65	61-68	И-Т-Д-100	90-110	ТУ 38.101293-78		45	3150	0,45
ИСП-110	110-118	И-Т-2-220	198-242	ТУ 38.101293-78		50	3350	0,45
ИМТ-160	150-180	И-Т-С-320	288-352	ТУ 38.101674-78	90	55	3160	0,45
		И-Т-Д-32	29-35	ТУ 38.1011337-90		40		0,45
		И-Т-Д-68	61-75	ТУ 38.1011337-90		40		0,45
		И-Т-Д-100	90-100	ТУ 38.1011337-90		45		0,45
		И-Т-Д-220	198-242	ТУ 38.1011337-90		50		0,45
		И-Т-Д-460	414-506	ТУ 38.1011337-90		55		0,45
		И-Т-Д-680	612-748	ТУ 38.1011337-90		55		0,45

Таблица П.Б.2 – Основные эксплуатационные свойства масел для ПЖТ и редукторов прокатных станов [1]

Ранее принятое обозначение	Вязкость при $t_{э\tau}=100^{\circ}\text{C}$, $\text{мм}^2/\text{с}$	Обозначение масла по ГОСТ 17479.4-87	Вязкость при $t_{э\tau}=40^{\circ}\text{C}$, $\text{мм}^2/\text{с}$	Характеристики масла	Индекс вязкости ИВ	Индекс задира Из	Нагрузка сваривания R_c, H	Диаметр пятна износа (196 H, 1ч), мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Для редукторов								
ПС-28	26-30	И-Т-А-460	414-506	ГОСТ 12869-77	80			
П-40	32-34	И-Т-А-680	612-748	ТУ 38.101312-76	80			
И100Р (С)	6-8	И-Т-Д-100	90-110	ТУ 38.101901-86	87	43	2370	0,55
П 8 П	8-12	И-Т-Д-100	90-110	ТУ 38.101248-72				
Для ПЖТ								
И46ПВ	6,5-7,5	И-Т-В-46 ПР	41-51	ТУ 38.101908-85	98			
И220ПВ	17,5-20	И-Т-В-220	198-242	ТУ 38.101908-85	95			
И460ПВ	27-31	И-Т-В-460	414-606	ТУ 38.101908-85	90			
ПРи-10	9,5-11	И-Т-С-100	90-110		98			0,4

Таблица П.Б.3 – Основные эксплуатационные свойства трансмиссионных масел [1]

Обозначение масла	Характеристика масла	Вязкость при $t_{э\tau}=100^{\circ}\text{C}$, $\text{мм}^2/\text{с}$	Индекс вязкости ИВ	Индекс задира Из	Нагрузка сваривания R_c, H	Диаметр пятна износа (196 H, 1ч), мм
1	2	3	4	5	6	7
Нигрол-З	ТУ 38.101529-75	18-22				
Нигрол-Л	ТУ 38.101529-75	27-34				
ТАП-15В	ГОСТ 23652-79	15	90	50	3920	0,5
ТАД-17И	ГОСТ 23652-79	17	100	58	3687	0,4

Таблица П.Б.4 - Основные эксплуатационные свойства специальных масел [1]

Обозначение масел	Характеристики масел	Вязкость $t_{эТ}$, мм ² /с	Индекс вязкости	Область применения
1	2	3	4	5
Турбинные масла ($t_{эТ}=50^{\circ}\text{C}$)				
T20	ГОСТ 32-74	28-32	65	В циркуляционных смазочных системах
T46	ГОСТ 32-74	44-48	60	В циркуляционных смазочных системах
T57	ГОСТ 32-74	55-59	60	В циркуляционных смазочных системах
Цилиндровые масла ($t_{эТ}=100^{\circ}\text{C}$)				
Цилиндровое-11	ГОСТ 6411-75	9-13	65	Для тяжело нагруженных зубчатых и червячных передач
Цилиндровое-24	ГОСТ 6411-75	22-28	35	Для тяжело нагруженных зубчатых и червячных передач
Цилиндровое-38	ГОСТ 6411-75	32-50	60	Для тяжело нагруженных зубчатых и червячных передач
Цилиндровое-52	ГОСТ 6411-75	50-70	80	Для тяжело нагруженных зубчатых и червячных передач
Авиационные масла ($t_{эТ}=100^{\circ}\text{C}$)				
МС-14	ГОСТ 217443-76	14	85	В циркуляционных смазочных системах для ПЖТ, шестеренных клетей, нажимных устройств
МС-20	ГОСТ 217443-76	20	85	
МС-22	ГОСТ 217443-76	22	70	

93

Таблица П.Б.5 – Основные характеристики пластичных смазочных материалов с добавками [1]

Наименование смазочного материала	Наполнитель, %	Вязкость при 20 ^o C, Па·с	Производственные свойства		Температурный диапазон, ^o C	Соотношение цен
			Рк, Н	Рс, Н		
Графитная Ус-А ГОСТ 3333-79	Графит (4)	60-100	670-1000	2000-2500	-30....+60	0,8
ВНИИНП-220 ТУ 38.101475-74	MoS ₂ (3)	....	280	3780	-30....+150	6,2
НК-50 ГОСТ 5573-67	Коллоидный графит (0,5)	300-750	650-750	2250-3550	-15....+150	2,5
Фиол-2 М ТУ 38.101233-75	MoS ₂ (2)	80-120	850-900	1800-2000	-40....+120	6,5
Шрус-4 ТУ 38.201312-81	MoS ₂ , ПТФЭ	200	1410-1580	7500-10000	-40....+120	11

Таблица П.Б.6 – Основные характеристики пластичных смазочных материалов на мыльных загустителях [1]

Наименование смазочного материала	Вязкость при 20°С, Па·с	Противозадирные свойства		Температурный диапазон, °С	Соотношение цен
		Рк, Н	Рс, Н		
Солидол С ГОСТ 4366-76	80-150	550-900	1750-2500	-30....+60	1
Пресс-солидол С ГОСТ 4366-76	30-90	550-650	1750-2000	-40....+50	1
Солидол Ж ГОСТ 1033-79	40-180	700-800	1580-1600	-30....+70	1,5
Пресс-солидол Ж ГОСТ 1033-79	30-40	.....	.....	-40....+50	1,5
Комплексные кальциевые мыла					
ЦИАТИМ-221 ГОСТ 9433-80	40-100	280-340	1100-1780	-60....+150	60
Униол-1 ТУ 38.201150-78	40-80	800-1120	2240-3200	-30....+150	1,5
ВНИИНП 207 ГОСТ 19774-74	80-100	420	1780	-50....+180	56
Униол-2 ГОСТ 23510-79	55	.....	....	-10....+160	2,2
Натриевые и натриево-кальциевые мыла					
Консталин ГОСТ 1957-73	100-200	700-850	2000	-20....+110	2,7
1-13 ОСТ 3801145-80	100-200	600-1120	1780-2250	-20....+110	3,2
НК-50(СТ) ГОСТ 5573-67	200-750	650-750	2250-3550	-15....+150	2,5
ИП-1 ТУ 38.101820-80	80-90	....	....	0...+70	1,6
Литиевые мыла					
ЦИАТИМ-201 ГОСТ 6267-74	45-120	280-500	1000-1580	-60....+90	2,8
ВНИИНП 242 ТУ.38 101359-73	140-240	700	2250	-30....+100	19
Литол-24 ГОСТ 21150-75	80-120	630-800	1600-2240	-40....+130	5
Фиол-2 ТУ 38.201188-79	80-120	600-800	1200-1400	-40....+120	4
ЛКС-металлургическая ТУ 38.401124-85	180-200	800	2400	-30....+150	4

Таблица П.Б.7 – Основные характеристики пастообразных и твердых смазочных материалов, суспензий [1]

Материал	Температурный диапазон, °С	Состав	Способ нанесения	Область применения	Примечание
1	2	3	4	5	6
Графит ГОСТ 5279-74	-250+350	(f=0,009-0,7)	Распыление аэрозолей	Разделение трущихся поверхностей, подшипники, зубчатые колеса	В среде агрессивных газов
Двухсернистый молибден ТУ МХПРУ-10-82-54	-180+520	(f=0,02-0,07)	Механическим втиранием	-	При нагрузках P=3000 МПа
Нитрид бора	+540	(f=0,4-0,5)	То же	Разделение трущихся поверхностей	-
Дисульфид вольфрама	+500	-	Распыление аэрозолей	-	-
Йодистый и фтористый кадмий	+1050	-	Распределение и сушка при 1093°	-	-
Молибденовокислый свинец	+650	-	Твердая пленка испарением в вакууме	Разделение трущихся поверхностей	Высокие удельные нагрузки до 7000 МПа
Фталоцианин ТУШ 3-37-64	-60+820	Органическая смазка	-	То же	-
ВНИИ НП-213	-250+350	M _o S ₂ + кремний-органическая смола К 55	Распылением, окунанием, кистью	Разделение трущихся поверхностей	Нагрузка до 750 МПа, ресурс
ВНИИ НП-229	-250+350	M _o S ₂ + силикат Na	Распылением, окунанием, кистью	То же	Нагрузка до 750 МПа, ресурс
ВНИИ НП-230	+200	-	Намазыванием	То же	Высокие нагрузки, низкие скорости скольжения
Пастообразные смазочные материалы					
ВНИИ НП-232	-20+120	M _o S ₂ + минеральное масло	Щеткой, шприцем 8-10 ч на 1м ²	Зубчатые передачи, болты, шарниры	Предотвращает заедание
ВНИИ НП-225	-30+350	M _o S ₂ + кремний-органическая жидкость	То же	То же	То же

Продолжение таблицы П.Б.7

1	2	3	4	5	6
ВНИИ НП-210	-10+400	MoS ₂ + кремний-органическая жидкость+графит + стабилизатор	То же	Подшипники качения	Высокие нагрузки, малые и средние скорости
Суспензии					
ВНИИ НП-243	-30+200	MoS ₂ + синтетическое масло	Щеткой, шприцем 8-10 ч на 1м ²	Для цепей, редукторов и т.д.	Низкая концентрация

Таблица П.Б.8 – Основные характеристики самосмазывающихся и металлокерамических материалов [1]

Материал	Твердость, МН/м ²	Температурный диапазон, °С	Допускаемое удельное давление, МПа	Допускаемая скорость без смазки, м/с	Применение	Примечание
1	2	3	4	5	6	7
Капрон (поликапролактан) ГОСТ 10589-73	100-120	+60	3,0	0,2 1-1,5	Сухое трение	-
Фторопласт (ПТФЭ) ГОСТ 10067-72		-269+200	0,7-1,0	0,5 0,4	В виде покрытий в агрессивной среде	-
Фторопласт с наполнителем		-269+200	1,0-1,2	1,0 2,8	Агрессивные среды	-
Металлокерамика с фторопластом		-269+200	10,0-13,0	5,0 1,5-2	То же	-
Фторопласт-4 ГОСТ 10067-72	30-40	-269+180	-	-	То же	Необходим теплоотвод
Фторопласт-3	10-30	+125-195	-	-	То же	Необходим смазочный материал
Фторопласт-40	60	-100+200			То же	Необходима хорошая обработка сопряженных поверхностей
Ф 40 С 15 Н 1,5	75	-269+200	1,2 с водой	До 0,8+5,0	То же	-
АМАН-1	250-270	-100+220	2-10	1	То же	-
АМАН-4	270-290	-100+300	2-10	1	То же	-

Продолжение таблицы П.Б.8

1	2	3	4	5	6	7
Бронзографит	170-300	+80	180	6,0 65-70	Пропитывается маслом	f=0,04-0,07
Железографит	600-900	70-80	250	4-5 50-70	Пропитывается маслом	f=0,07-0,09
Графитофторопластовые материалы						
7В-2А	85-140	+250	1-1,5	5	В паре с чугунами, сталями с хромовыми покрытиями	f=0,002-0,004
АФГМ	67-143	+180	1-1,5	5		В паре со сталью 1Х18Н10Т
АФГ-80ВС	60-95	+200	1,5	5		f=0,08-0,15
Силицированный графит						
СГ-Т		250	2,5	20	В агрессивных средах, содержащих абразивные частицы	
СГ-П		250	2,5	25		
Углеродные материалы						
АГ-1500	70-72 ед. По Шору	-30 +400	0,1	6	В паре со сталями 40Х, ШХ-15, Р18, Х17Н13М2Т	f=0,04 со смазкой минеральным маслом

ГАНИН ДМИТРИЙ РУДОЛЬФОВИЧ
ГАВРИШ ПЕТР ВЛАДИМИРОВИЧ

СОСТАВ И СВОЙСТВА СМАЗКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Учебно-методическое пособие
для студентов направления подготовки бакалавров
15.03.02 Технологические машины и оборудование
всех форм обучения

Подписано в печать 16.12.2020 г.		
Формат 60x90 $\frac{1}{16}$ Рег. № 186	Печать цифровая Тираж 100 экз.	Уч.-изд. л. 6,125

ФГАОУ ВО

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Новотроицкий филиал

462359, Оренбургская обл., г. Новотроицк, ул. Фрунзе, 8.

E-mail: nf@misis.ru

Контактный тел. 8 (3537) 679729.

