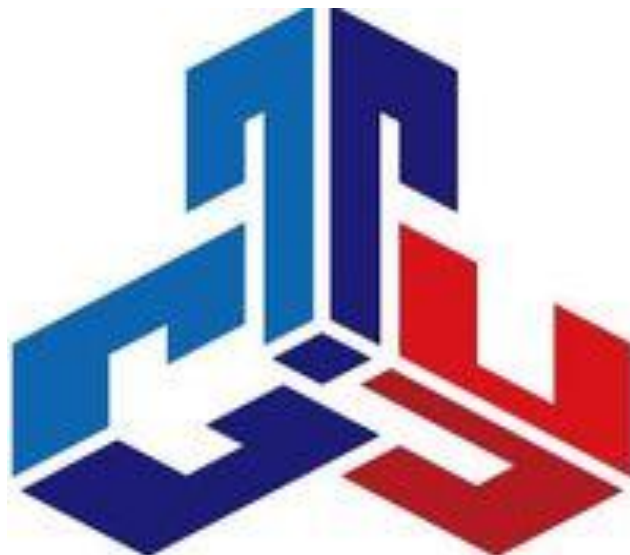


**СОВРЕМЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**



**ОСНОВЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ СЕРВИСА**

Учебное пособие

Рязань, 2020

УДК 338.46  
ББК 65.43  
О75

Основы функционирования систем сервиса: учебное пособие / сост. Лопатин Е. И., Паршков А.В.  
Совр. техн. универ-т. – Рязань, 2020. – 121 с., – 50 экз..

Рецензент: генеральный директор ООО «Проспект» Ивкин Ю.В.

В учебном пособии изложены основные понятия и положения, характеризующие системы сервиса. Приведены классификация и состав систем сервиса различных типов применительно к области транспорта, раскрыты показатели эффективности функционирования этих систем. Большое место уделено вопросам, связанным с надежностью функционирования систем сервиса, основами функционирования машин, приборов, аппаратов и устройств.

Учебное пособие предназначено для студентов-бакалавров,  
обучающихся по направлению подготовки «Сервис».

*Печатается по решению Ученого Совета  
Современного технического университета*

УДК 338.46  
ББК 65.43  
О75

© Е.И. Лопатин, А.В. Паршков  
© Современный технический университет, 2020

# 1. СИСТЕМЫ СЕРВИСА И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

## 1.1. Классификация систем сервиса

Системы сервиса можно классифицировать по главному признаку – принадлежности к той или иной отрасли человеческой деятельности. В соответствии с этим можно выделить системы сервиса в следующих областях:

сбыта и использования (потребления) промышленной продукции;

транспорта;

науки;

культуры и искусства.

*Предметом* нашего изучения являются системы сервиса на транспорте. Для выявления общих черт, присущих системам сервиса, и их различий остановимся вначале на системах сервиса в области сбыта и использования промышленной продукции. Для них характерно следующее. Системы этого типа выполняют ряд функций, соответствующих сервисной политике.

**Сервисная политика** предполагает техническое обслуживание проданных изделий и сервисное обслуживание – предоставление покупателю различного рода услуг по доставке и транспортировке товара и т.д.

**Техническое обслуживание** включает предпродажное и послепродажное обслуживание.

**Предпродажное обслуживание** предусматривает подготовку товара к продаже, разработку системы каталогов и прейскурантов, подготовку и перевод технической документации и инструкций пользования с иностранных языков, придание готовой промышленной продукции товарного вида после транспортировки к месту назначения, распаковку, расконсервацию, снятие антикоррозийного и иных покрытий, монтаж, заправку топливом, смазку, наладку и регулировку, доведение показателей до паспортного уровня, демонстрацию товара в действии, обучение обращению с товаром.

**Послепродажное обслуживание** разделяется на *гарантийное* и *послегарантийное*. В гарантийный период расходы по техобслуживанию несет продавец, а в послегарантийный – покупатель. Послепродажное обслуживание связано с текущим ремонтом поставленных товаров, снабжением их запчастями, заменой дефектных деталей и узлов на новые, проведением различного рода профилактических осмотров, испытаний и плановых ревизий, капитальных ремонтов.

В организации технического обслуживания немаловажную роль играет создание и совершенствование работы специальных гарантийно-консультационных пунктов в местах потребления проданных товаров, учебных центров, демонстрационных залов, станций технического обслуживания, ремонтных мастерских, компьютеризованных складов запасных частей.

В техническое обслуживание также включается работа по рассмотрению и удовлетворению рекламаций покупателей в отношении качества товаров.

*Сервисное обслуживание* может быть и самостоятельной прибыльной статьей доходов фирмы за счет многократности соответствующих операций.

Рассмотрим теперь более подробно классификацию систем сервиса на транспорте.

Основным классификационным признаком для этих систем является объект оказания услуг. Объектами оказания услуг на транспорте могут быть:

- люди (пассажиры, члены экипажа, сотрудники транспортных агентств);
- транспортное средство (как техническая система);
- организационно-техническая транспортная система как совокупность взаимосвязанных органов управления (управляющих лиц с соответствующими информационными и иными средствами управления) и транспортных средств.

Каждому из этих видов объектов соответствуют услуги и системы сервиса (в зависимости от оказываемых объекту услуг).

Рассмотрим услуги, оказываемые на транспорте человеку (пассажиру и грузу).

**Транспортные услуги** – услуги по доставке грузов и пассажиров. Они могут использоваться комплексно, без выделения отдельных из них, например, погрузки груза в транспортное средство или хранения в вагоне (на складе, элеваторе и т.п.). Однако по условиям договора возможно выполнение лишь отдельных услуг. Например, клиент осуществляет погрузку самостоятельно и своими средствами, а перевозчик осуществляет только операцию движения и выгрузку. В состав транспортных услуг может входить подготовка груза и перевозка – тарирование и упаковка, маркировка, хранение до накопления в пределах нормы выгрузки, информация об отправлении, ожидаемом прибытии, месте нахождения груза и т.д. Транспортные услуги выполняются за счет соответствующих тарифов.

Обобщая услуги, оказываемые на транспорте человеку, можно прийти к следующей схеме, приведенной на (рис.1.1.).

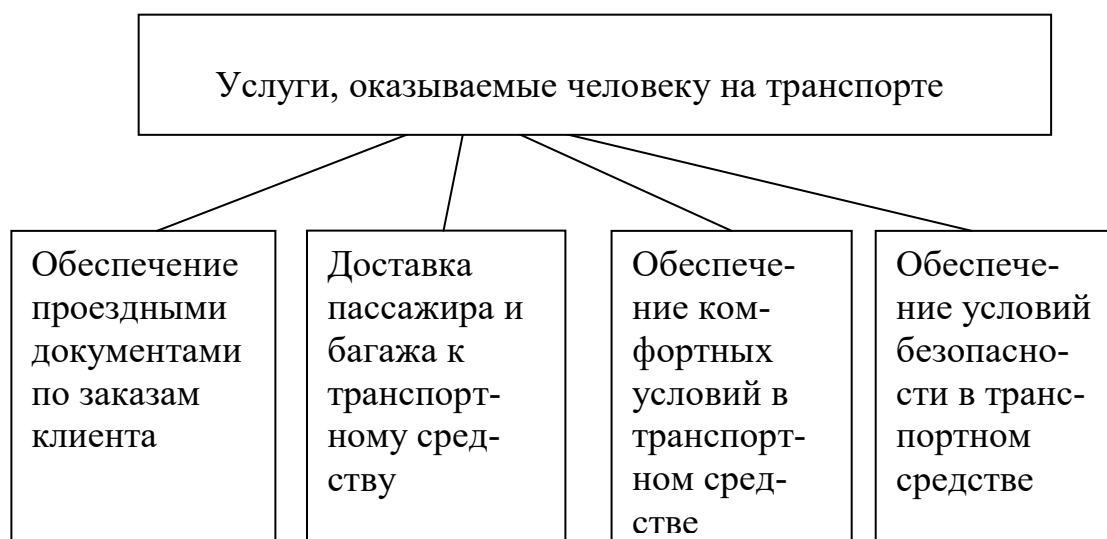


Рис.1.1. Схема, поясняющая структуру услуг, оказываемых человеку на транспорте

Обобщения для услуг, оказываемых транспортному средству, описываются схемой на рис.1.2.

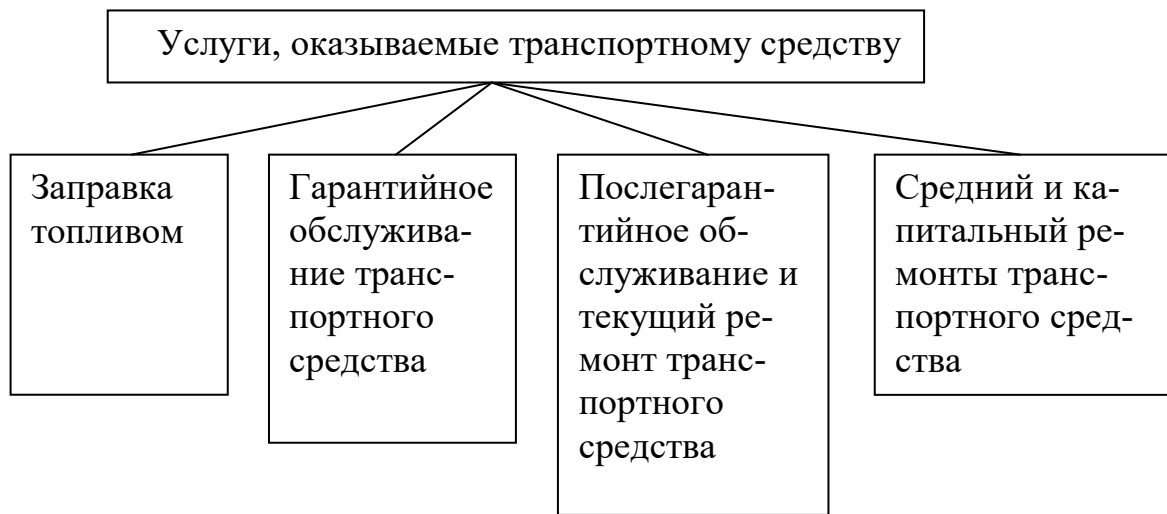


Рис.1.2. Схема, поясняющая структуру услуг, оказываемых транспортному средству

Обобщенная схема услуг, оказываемых транспортной системе, – на рис.1.3.



Рис.1.3. Схема, поясняющая структуру услуг, оказываемых транспортной

## 1.2. Общая характеристика состава систем сервиса различных типов

Для оказания услуг человеку (услуг **типа I**) используются

- 1) специализированные информационно-вычислительные средства;
- 2) автобусы;
- 3) вентиляторы, обогреватели, холодильные установки, средства для приготовления пищи (печи, электропечи ); средства обеспечения безопасности (ремни, жилеты, подушки ).

Для оказания услуг транспортному средству (услуг **типа II**) применяются

- 1) оборудование бензоколонок (емкости, насосы, специальные измерительные средства); оборудование баз снабжения топливом;
- 2) оборудование станций технического обслуживания(подъемные устройства, сварочные агрегаты, сверлильные и металлорежущие станки, устройства для покраски напылением, инструмент);
- 3) оборудование ремонтных предприятий (станки различного типа, подъемные устройства, конвейеры для сборки, запасные части для транспортных средств, сварочные агрегаты, системы технического диагностирования).

Для оказания услуг организационно-технической транспортной системе (услуг **типа III**) применяются

- 1) информационно-вычислительные системы, средства электронной связи;
- 2) парк вспомогательных транспортных средств;
- 3) подъемно-транспортные средства;
- 4) конвейеры для погрузочно-разгрузочных работ;
- 5) запасные части транспортных средств;
- 6) оборудование для выполнения планово-предупредительных ремонтов.

Технические средства для оказания услуг типа I, как правило, используются автономно (индивидуально), без связи с другими средствами системы сервиса.

Технические средства сервиса для оказания услуг типа II объединяются в некоторые системы, выполняющие функции обслуживания. Такие системы представляют собой некоторые предприятия (бензоколонки, базы снабжения топливом, станции технического обслуживания, ремонтные заводы).

Технические средства сервиса для оказания услуг типа III входят в состав органов управления транспортной системой и предприятий, обеспечивающих сервис множества транспортных средств и их использования.

### **1.3. Состав систем жизнеобеспечения и безопасности транспортных средств**

#### **1.3.1. Системы пожаротушения**

Различные горючие материалы (топливо, краски, дерево, изоляция и др.) представляют опасность, так как являются источниками возникновения пожара и его распространения по транспортному средству.

Существенную роль в успешной борьбе с пожаром играет современная сигнализация.

К мероприятиям по *предупреждению* пожаров относятся:

- минимальное использование горючих материалов на транспортном средстве;
- уменьшение горючести применяемых материалов путем пропитки или покрытия их негорючими или трудногораемыми составами;
- надежная изоляция различных легковоспламеняемых материалов от нагрева;
- предупреждение искрообразования в местах возможного скопления огнеопасных газов;
- заполнение свободных объемов в местах содержания способных воспламениться грузов инертными газами, не поддерживающими горения.

Для *борьбы* с пожаром используют различные средства, цель которых локализовать пожар, остановить его распространение и создать вокруг горящего предмета атмосферу, не поддерживающую горения.



**Системами пожаротушения** называют группу систем, предназначенных для подачи огнегасящих веществ (воды, пара, пены, инертных газов, легкоиспаряющихся жидкостей и т.п.) к очагу пожара или для обеспечения профилактических противопожарных мероприятий.

На транспортных средствах к ним относятся системы:

- водяная,
- водяного орошения,
- водяных завес,
- водораспыления,
- спринклерная,
- паротушения,
- пенотушения,
- объемного химического тушения,
- углекислотного тушения,
- тушения инертными газами,
- порошкового тушения, а также пожарной сигнализации.

**Система водяного пожаротушения** применяется на морских и речных судах. Она подает забортную воду для тушения пожара компактными или распыленными водяными струями с использованием переносных (ручных) или стационарных (лафетных) стволов. Система состоит из пожарных насосов, подающих забортную воду в магистральный трубопровод.

**Система водяного орошения** служит для подачи воды к оросительным насадкам для тушения пожара в хранилищах взрывчатых веществ и легковоспламеняющихся веществ, а также элементов конструкции транспортного средства (например, на морских судах – для орошения палуб, переборок, шахт, трапов). Система срабатывает автоматически при определенном повышении температуры, о начале ее работы подается сигнал тем, кто управляет транспортным средством.

**Система водяных завес** подает воду для создания сплошных водяных завес, препятствующих распространению пламени и для охлаждения корпус-

ных конструкций транспортного средства (чаще всего судов водного транспорта).

**Система водораспыления** служит для подачи воды к распылительным насадкам, установленным для тушения пожара распыленной водой и тонкораспыленной водой, т.е. доведенной до туманообразного (дисперсного) состояния в отсеках жидкого топлива. Тонкораспыленная вода создает в топливных отсеках обедненную кислородом среду, и горение не поддерживается. Систему выполняют в виде кольцевых магистралей из медных труб. Вода в магистрали подается от автоматически включенного насоса.

**Спринклерная система** необходима для подачи воды к оросительным насадкам, которые включаются автоматически при повышении температуры. Основой системы является спринклер – распыляющая воду насадка с легкоплавким замком, открывающим выход водяной струе из трубопровода при достижении заданной температуры.

**Система паротушения** предназначена для подачи водяного насыщенного пара в охваченные пожаром грузовые трюмы, котельные отделения судов. Пар, заполняющий эти помещения, создает атмосферу, не поддерживающую горение. Для паротушения используют насыщенный пар от котлов.

**Система пенотушения** наиболее эффективна при тушении горящих нефтепродуктов. Пена представляет собой ячеисто-пленочную структуру, образованную множеством пузырьков газа, разделенных тонкими пленками жидкости. Благодаря небольшой удельной массе (около  $0,1 \text{ г/см}^3$ ) огнегасящая пена легко удерживается на поверхности любых нефтепродуктов. Различают воздушно-механическую и химическую пену. В системе воздушно-механического пенотушения пена образуется при взаимодействии пенообразующей жидкости с водой и воздухом. Пена вырабатывается либо в резервуарах на станциях воздушно-механического пенотушения, либо непосредственно при выходе из магистрали в специальных воздушно-пенных стволах стационарного или переносного типа.

**Система химического пенотушения** уступает по надежности и удобству эксплуатации воздушно-механических и на новых транспортных средствах (например, судах) не применяется.

**Система объемного химического тушения** – одна из наиболее эффективных противопожарных систем – предназначена для подачи легкоиспаряющихся огнегасительных жидкостей из цистерн хранилищ и баллонов для тушения пожара путем заполнения помещений парами жидкости. В качестве огнегасительной жидкости используют хладоны (13В1 и 114В2) или состав, состоящий из хладона и бромистого этила. Система состоит из баллона и трубопроводов, идущих в охраняемые помещения.

**Система углекислотного тушения** подает жидкую углекислоту из баллонов для тушения пожара путем заполнения помещений газообразной углекислотой.

**Система тушения инертными газами** предназначена для предупреждения пожара или взрыва путем заполнения газом помещений.

**Система порошкового тушения** предназначена для тушения пожаров в помещениях аварийных источников энергии, кладовых легковоспламеняющихся материалов и т.п. В качестве огнегасящих порошков чаще всего используют порошки на основе бикарбонатов натрия или калия, а также фосфата аммония. В качестве газоносителя обычно применяют азот или другой инертный газ. Подача порошка в помещения осуществляется через распылители.

**Системы пожарной сигнализации** делятся на следующие виды:

- сигнализация обнаружения пожара, т.е. подача сигнала с места возникновения пожара в центральный пожарный пост;
- сигнализация оповещения – уведомление экипажа и пассажиров о возникновении пожара на транспортном средстве;
- сигнализация предупреждения – уведомление экипажа о пуске в действие системы пожаротушения.

Сигнализация *обнаружения* пожара разделяется на автоматическую и ручную. Системы автоматической сигнализации обнаружения бывают электрическими и

дымовыми. Электрические системы состоят из датчиков-извещателей, которые автоматически сигнализируют о появлении дыма, повышении температуры, появлении огня в контролируемом помещении. В дымовых системах для контроля задымленности применяют оптические и радиоактивные приборы. Кроме того, существуют датчики-извещатели, которые приводятся в действие вручную.

Сигнализация *оповещения* – колокола, световые сигналы, сирены.

Сигнализация *предупреждения* включается автоматически при пуске системы объемного тушения помещений, в которых при нормальной эксплуатации находятся люди. Сигнализация включается с таким расчетом, чтобы люди могли покинуть помещение до момента подачи огнегасящего вещества. В дополнение к громкому звуковому сигналу включается световое табло: «Газ! Уходи!».

### 1.3.2. Системы бытового водоснабжения

Системами бытового водоснабжения называют группу систем, предназначенных для обеспечения хозяйственно-бытовых и санитарных нужд судна (воздушного, водного), пассажирского поезда водой. К этой группе относятся системы бытовой пресной воды, питьевой, воды для мытья, бытовой горячей и бытовой забортной воды (для морских судов). Эти системы в общем состоят из цистерн, баков, трубопроводов, насосов, водоподогревателей.

### 1.3.3. Сточные системы

Сточными системами называют группу судовых систем, состоящую из системы сточных вод, системы хозяйственно-бытовых вод. Они предназначены для удаления различных сточных вод (из унитазов, писсуаров, ванн, умывальников, раковин и других санитарных и хозяйственно-бытовых приборов). Эти системы состоят из трубопроводов, а на морских судах и из насосов для откачки сточных вод.

### 1.3.4. Системы микроклимата

К этой группе относятся системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Они предназначены для создания и поддержания в помещениях транспортного средства необходимых параметров воздушной среды.

### *Системы отопления*

Они обеспечивают обогрев помещений транспортного средства в холодное время года. В общем применяют паровые, водяные и воздушные системы отопления, а также отопление с помощью электрогрелок, питающихся от электросети транспортного средства.

### *Система вентиляции*

Эта система призвана поддерживать чистый, свежий воздух в помещениях транспортного средства, удалять скопление газов из аккумуляторных и др. помещений.

В помещениях с загрязненным воздухом (курильных, санузлах, аккумуляторных) применяют *вытяжную* вентиляцию.

В помещениях, в которых всегда должен быть чистый воздух (каюты, салоны и др.) оборудуют *приточной* вентиляцией. Иногда используют в помещениях *комбинированную* вентиляцию (вытяжную и приточную).

Для вентиляции применяют вентиляционные дефлекторы, через которые воздух втягивается или вытягивается из-за разности температур.

На транспортных средствах, перевозящих скоропортящиеся грузы, применяют *систему охлаждения воздуха*. Воздух, вдуваемый в эти помещения, охлаждается либо в результате продувания его через специальные теплообменники, охлаждаемые в свою очередь с помощью рефрижераторных машин, либо непосредственно в обслуживаемом помещении, в котором установлены специальные батареи с хладоносителем.

### *Система кондиционирования воздуха*

Эта система необходима для создания в помещениях транспортного средства воздушной среды заданной температуры и влажности независимо от внешних условий. В этой системе сочетаются принципы действия систем вентиляции, охлаждения и осушения воздуха.

#### 1.4. Системы оказания услуг в сфере заказов на перевозки пассажиров

Эти системы предназначены для удовлетворения различного рода заказов на перевозку пассажиров и грузов. Основные виды удовлетворения заказов:

- обеспечение пассажира билетом в кассе вокзала;
- удовлетворение заказа на билет пассажиру по предварительной заявке по телефону;
- удовлетворение заказа индивидуального грузоотправителя на перевозку груза;
- удовлетворение заказа организации-грузоотправителя на перевозку груза.

Для решения перечисленных задач используются системы, выполняющие следующие функции:

- информационные,
- расчетные,
- распорядительные,
- финансово-оформительские.

Для реализации **информационных** функций используются:

- различные рекламные средства, в том числе электронные табло;
- информационные табло и специальные стендовые устройства (с информацией о маршрутах в различные пункты назначения, времени отправления и прибытия, стоимости билетов);
- информационные табло о месте нахождения транспортного средства (поезда): номер пути, время отправления поезда; начало регистрации пассажиров на авиарейс, время вылета, начало посадки; начало посадки пассажиров на судно водного транспорта;
- компьютеры с базами данных о наличии мест на транспортное средство по различным маршрутам, рейсам;
- телефонные средства связи для передачи информации пассажирами, грузоотправителями о предварительном заказе и для сообщений (ответов) клиентам от транспортных организаций.

Для реализации **расчетных** функций используются компьютеры или специальные машины, совмещающие в себе и **финансово-оформительские** функции (оформление проездных документов).

**Распорядительные** функции (отдача распоряжений работникам перевозочных служб о необходимости удовлетворения полученных заказов, особенно по перевозке грузов) реализуются с помощью средств телефонной или факсимильной связи, электронной почты.

### 1.5 Системы обслуживания транспортных средств

К таким системам относятся совокупности средств, предназначенных для выполнения следующих функций:

- диагностирование транспортных средств;
- восстановления работоспособности в случае отказов или происшествия;
- проведения плановых технических обслуживаний;
- проведения плановых ремонтов.

Для выполнения этих функций создаются специальные производственные системы. В зависимости от вида транспортных средств такие системы имеют различный масштаб и соответствующие наименования.

На *автомобильном* транспорте:

- диагностические станции;
- станции технического обслуживания;
- авторемонтные мастерские;
- авторемонтные заводы.

На *железнодорожном* транспорте:

- вагонные и локомотивные депо;
- вагоноремонтные заводы.

На *авиационном* транспорте – подразделения технического обслуживания и ремонта авиационной техники на авиапредприятиях.

На *водном* транспорте:

- доки;
- ремонтные заводы (для ремонта съемных агрегатов с судов).

Основными элементами перечисленных производственных систем сервиса являются: контрольно-измерительные приборы; слесарный инструмент; металлорежущие и сверлильные станки; сварочные аппараты; подъемные механизмы (домкраты, лебедки, тали, специальные подъемники); вспомогательное оборудование; комплекты запасных частей; расходные материалы (провода, трубки, металлические пластины, резина, смазочные материалы, краски и др.).

### **1.6. Показатели эффективности систем сервиса**

Системы сервиса характеризуются рядом свойств, среди которых основными являются эффективность их функционирования.

**Эффективность** – степень приспособленности системы к выполнению своих функций для достижения целей функционирования.

Эффективность проявляется при функционировании систем, т.е. это свойство, присущее целенаправленным процессам.

Целями функционирования систем сервиса могут быть:

- полнота оказания услуг;
- качество оказываемых услуг;
- своевременность оказания услуг;
- надежность оказания услуг.

Эффективность функционирования систем сервиса можно характеризовать степенью достижения всех перечисленных целей или нескольких и даже одной из них.

Для количественной оценки эффективности используются показатели эффективности.

**Показатель эффективности** – мера, с помощью которой измеряется свойство системы, проявляющееся при ее функционировании для достижения определенной цели.



С помощью показателей эффективности можно сравнивать системы, определять пригодность системы к выполнению поставленных задач или находить оптимальный вариант системы. Это осуществляется на основании критериев эффективности.

**Критерий эффективности** – правило, с помощью которого, используя показатель эффективности, принимают решение о варианте системы.

Существуют критерии пригодности и оптимальности.

**Критерий пригодности** – правило, заключающееся в выборе варианта системы (т.е. принятии решения  $U^*$ ), если показатель эффективности, характеризующий ее функционирование ( $f$ ), не хуже требуемого (заданного) значения  $f_{mp}$ :

$$f \geq f_{mp} \text{ (если система тем лучше, чем больше } f)$$

или

$$f \leq f_{mp} \text{ (если система тем лучше, чем меньше } f).$$

**Критерий оптимальности** – правило, заключающееся в выборе варианта системы (т.е. принятии решения  $U^*$ ), которому соответствует экстремальное значение показателя  $f$ :

$$\max(\min)_{u_i \in U} \{f_i\},$$

где  $u_i$  –  $i$ -й вариант решения;

$U$  – множество рассматриваемых вариантов решений.

Знак  $\max$  соответствует случаю полезности увеличения  $f$ ,  $\min$  – в противном случае.

Рассмотрим показатели эффективности функционирования систем сервиса. В соответствии с целями функционирования этих систем можно рассматривать следующие показатели эффективности.

1. Показатель полноты оказываемых услуг

$$f_n = \frac{n_y}{n_y^o},$$

где  $n_y$ ,  $n_y^o$  – оказываемое и полное требуемое количество услуг.

2. Показатели качества оказываемых услуг:

$$f_{ki} = \frac{\Delta\Pi_i}{\Pi_{mp.i}}; i = \overline{1, n_i},$$

где  $\Pi_{mp.i}$  – требуемое значение параметра услуги  $i$ -го вида;

$\Delta\Pi_i = |\Pi_i - \Pi_{mp.i}|$  – отклонение значения параметра услуг  $i$ -го вида от требуемого значения.

3. Показатели своевременности оказания услуг.

$f_{cv.i}^{(1)} = \Delta t_i$  – отклонение времени оказания услуги  $i$ -го вида от заданного времени;

$\Delta t_i = t_i - t_{зад i}$ ; если  $\Delta t_i \leq 0$ , то  $f_{cv.i}^{(1)} = 0$ ;

$f_{cv.i}^{(2)} = P(\Delta t_i \leq \Delta t_{i доп})$  – вероятность того, что отклонение времени оказания услуг  $i$ -го вида от заданного времени не превысит допустимой величины  $\Delta t_{i доп}$ .

4. Показатели надежности оказания услуг:

$f_{hi}^{(1)} = p_i(t)$  – вероятность многократного безотказного оказания услуги  $i$ -го вида в течение рассматриваемого времени  $t$ ;

$f_{hi}^{(2)} = M_i(t)$  – математическое ожидание (среднее количество) случаев безотказного оказания услуг  $i$ -го вида в течение рассматриваемого времени  $t$ ;

$f_H^{(3)} = P_C(t)$  – вероятность безотказного функционирования системы сервиса в течение рассматриваемого времени  $t$  по оказанию множества услуг  $\{\overline{1, n_y}\}$ .

## 1.7. Производственные системы сервиса

### 1.7.1. Назначение и состав производственных систем сервиса

Производственные системы сервиса предназначены для оказания услуг покупателям промышленной продукции на следующих стадиях ее существования:

- послепродажного гарантийного обслуживания;

- послегарантийного обслуживания.

В области транспорта используется основной вид промышленной продукции – транспортные средства, системы транспортных средств и средств, обеспечивающих их функционирование (средства связи, дистанционного контроля и управления, сигнализации, дорожного пути и др.).

В соответствии с этим оказание услуг перечисленным средствам заключается в техническом обслуживании, текущем, среднем и капитальном ремонтах. Производственные системы сервиса предназначены для выполнения этих функций.

Согласно выполняемым функциям формируется и состав производственных систем сервиса. Состав их определяется также масштабом работ, количеством обслуживаемых единиц транспортной техники в данной системе.

В соответствии с этим производственные системы сервиса могут содержать:

- мастерские обслуживания;
- станции технического обслуживания (станции технического обслуживания автомобилей, службы аэродромного обслуживания, вагонные депо, локомотивные депо, доки);
- ремонтные предприятия.

В состав этих функциональных элементов производственных систем сервиса входят различные технические элементы:

- основное оборудование;
- вспомогательное оборудование;
- измерительные средства, средства диагностирования;
- инструменты;
- запасные части;
- расходные материалы.

К основному оборудованию относятся: станки, сварочные аппараты, подъемные механизмы и др.

Вспомогательное оборудование могут составлять средства обеспечения безопасности выполняемых работ, противопожарные средства и др.

Средства измерений могут быть самого различного назначения: для измерения электрических величин (токов, напряжений, мощности, сопротивления), для измерения давления, температуры, геометрических размеров и др. Для определения технического состояния транспортных средств используются специальные комплекты средств диагностирования.

Инструмент применяется общего назначения (дрели, молотки, зубила, плоскогубцы, клещи, отвертки, ключи и др.) и специальных предназначений для разборки и сборки определенного типа агрегатов, машин, устройств.

Запасные части соответствуют классу обслуживаемых транспортных средств.

К расходным материалам относятся: крепежные изделия, заготовки металлов, лаки, краски, смазки и др.

#### 1.7.2. Показатели функционирования производственных систем сервиса

Для этих систем (с учетом их производственного характера) пригодны рассмотренные ранее показатели эффективности  $f_{ki}$ ,  $f_{св.и}$ ,  $f_{Hi}$ , а также ряд специальных показателей.

К ним относятся:

$m_i$  – количество объектов, которым может быть оказана услуга  $i$ -го вида в течение заданной единицы времени (за рабочий день, месяц, год), т.е. пропускная способность предприятия по обслуживанию;

$Z_y$  – затраты на выполнение работ и на материальные средства для оказания множества услуг  $\{1, n_y\}$  в течение рассматриваемого времени  $t$  (день, месяц, год);

$D_y$  – доход предприятия за оказание услуг в течение времени  $t$ ;

$\Pi_y$  – прибыль за оказание услуг в течение времени  $t$ ;  $\Pi_y = D_y - Z_y$ .

## 2. НАДЕЖНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ СЕРВИСА

### 2.1. Основные определения надежности

*Надежность* – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Надежность является свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения состоит из сочетаний свойств: безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

*Безотказность* – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки.

*Долговечность* – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

*Ремонтпригодность* – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонта.

*Сохраняемость* - свойство объекта сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение и после хранения и (или) транспортирования.

Таким образом, надежность является общим, интегральным свойством объекта, которое выражается, проявляется через другие, более частные, свойства (рис. 2.1):

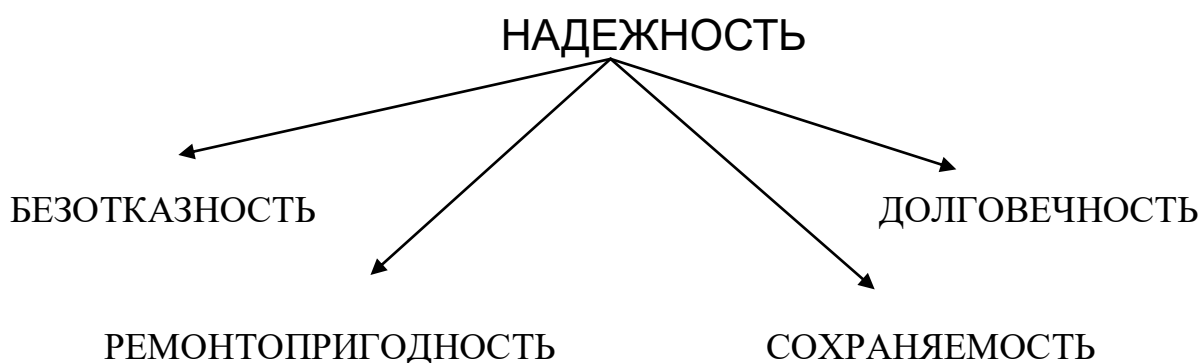


Рис.2.1. Структура понятия «надежность»

Эти более частные свойства, как следует из их определений, связаны, в свою очередь, с рядом других терминов:

состояние объекта (например, работоспособное состояние);

события (например, отказы, повреждения).

Такие термины требуют специального рассмотрения.

## 2.2. Состояние объекта и события, характеризующие надежность

### 2.2.1. Состояние объекта

*Исправное состояние* – состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

*Неисправное состояние* – состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

*Работоспособное состояние* – состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

*Неработоспособность состояния* – состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять за-

данные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

*Предельное состояние* – состояние объекта, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно либо восстановление его исправного или работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Предельное состояние определяется с помощью специального критерия.

*Критерии предельного состояния* – признак или совокупность признаков предельного состояния объекта, установленные в нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Следует отметить принципиальное различие терминов: исправное и работоспособное состояния, неисправное и неработоспособное состояния.

Работоспособное состояние объекта характеризуют лишь те параметры, от которых зависит выполнение заданных функций. Исправным же состояние объекта считается тогда, когда все требования, а следовательно, и все параметры соответствуют нормативно-технической и (или) конструкторской документации. Так, транспортное средство, способное выполнять все свои функции, находится в работоспособном состоянии. Но по характеристикам исправности оно может одновременно находиться в неисправном состоянии. Например, это транспортное средство имеет дефекты и повреждения: нарушение лакокрасочного покрытия корпуса, трещины в смотровых стеклах, вмятины в элементах корпуса, трещины в резиновых деталях (уплотнителях, соединительных шлангах). Таким образом, заданные функции объект выполнять может, т.е. работоспособен, но всем требованиям документации не соответствуют, т.е. неисправен.

По аналогии с изложенным можно сделать вывод, что неисправное состояние – более широкое понятие, чем неработоспособное состояние; неработоспособное состояние более конкретно отражает неисправное состояние, так как устанавливает соответствие параметров объекта возможностям выполнять им свои функции.

Таким образом, можно одновременно характеризовать объект следующими состояниями:

1. Исправное, работоспособное (так как по определению исправное состояние характеризуется удовлетворением всем требованиям документации, а следовательно, и способности выполнять заданные функции);
2. Неисправное и работоспособное;
3. Неисправное, неработоспособное (уточненное неисправное).

Обычно эта терминология используется так:

- а) для оценки работоспособности объекта применяются лишь термины: «работоспособное состояние», «неработоспособное состояние»;
- б) для уточнения работоспособного состояния применяются еще термины: «исправное состояние», «неисправное состояние».

Таким образом, имеем структурную схему терминов (рис.2.2).

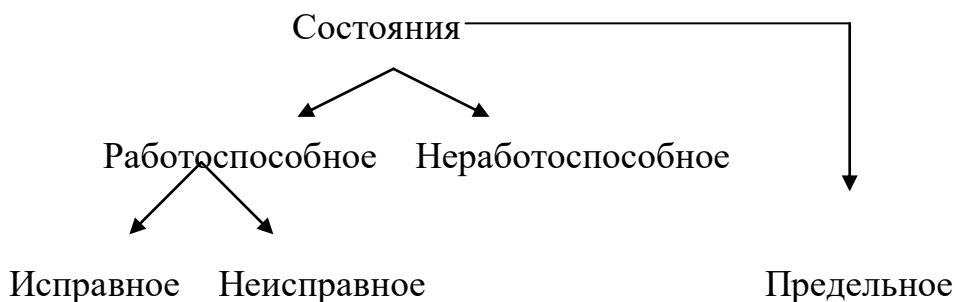


Рис.2.2. Структура состояний, характеризующих объект

В отношении термина предельное состояние целесообразно заметить следующее:

- а) недопустимость применения объекта объясняется очевидной его неработоспособностью такого уровня, что даже при её восстановлении велик риск применения из-за аварий и материального ущерба (поэтому объект подлежит списанию);



б) нецелесообразность применения объекта объясняется низким уровнем полезного эффекта из-за ненадежности (это также приводит к списанию объекта);

в) невозможность восстановления объекта может быть объяснена его конструктивными особенностями;

г) нецелесообразность восстановления объясняется экономическими факторами.

В других случаях наступление предельного состояния может означать невозможность применения, но возможность восстановления путем средних и капитальных ремонтов.

Сущность изложенных терминов становится более понятной после рассмотрения событий, характеризующих надежность.

#### 2.2.2. События, характеризующие надежность

Основным из таких событий является отказ.

*Отказ* – событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта.

Основные классификационные признаки и соответствующие им виды отказов представим в виде табл. 2.1.

Поясним перечисленные виды отказов.

Отказ, характеризующийся скачкообразным изменением одного или нескольких заданных параметров, называется *внезапным* (например, остановка транспортного средства в результате неработоспособности топливного насоса энергетической установки).

Отказ, характеризующийся постепенным изменением заданных параметров, называется *постепенным* (например, потеря мощности энергетической установки транспортного средства из-за недопустимой величины зазора между внутренней стенкой цилиндра и внешней поверхностью поршня в поршневом двигателе). Постепенные отказы могут быть предотвращены путем осмотров объекта или контроля его состояния.

Таблица 2.1

<b>Признак классификации</b>	<b>Вид отказа</b>
Характер изменения параметра до момента отказа	Внезапный Постепенный
Степень потери полезных свойств	Полный Частичный Перемежающийся
Связь с другими отказами	Зависимый Независимый
Наличие внешних признаков	Явный (очевидный) Неявный (скрытый)
Причина возникновения	Конструктивный Производственный Эксплуатационный
Время появления	При работе При хранении
Цена отказа	Простой объекта Невыполнение задачи

В случае, если после возникновения отказа использование объекта по назначению невозможно до восстановления его работоспособности, отказ является *полным* (например, спущено одно из колес автомобиля, троллейбуса). Отказ, наступивший в результате ухода параметра (параметров) за установленные пределы, но не приводящий к полной утрате объектом способности выполнять требуемые функции, считается *частичным* (двигатель работает не на всех цилиндрах).

*Перемежающийся* отказ – это отказ объекта, проявляющийся в течение ограниченного интервала времени, после чего объект восстанавливает свою ра-

боту без проведения какого-либо корректирующего мероприятия извне (движение автомобиля на разбавленном топливе).

Такой отказ является самоустраняющимся и чаще всего – повторяющимся.

*Независимый* отказ – отказ, возникающий в результате любой причины, кроме другого отказа, а в противном случае – *зависимый*.

Отказ, возникающий вследствие несовершенства принятых методов проектирования или ошибок конструкторов, – *конструктивный*, вследствие нарушения установленного процесса производства (изготовление, ремонт) объекта – *производственный*, а вследствие нарушения установленных правил и (или) условий эксплуатации – *эксплуатационный*.

По времени появления различают отказы во время *работы* и *хранения*. Причем время работы обычно разбивают на три интервала: приработка, нормальная эксплуатация, износ (старение). Для подавляющего большинства узлов, деталей, элементов количество отказов в интервалах приработки и износа значительно больше, чем на интервале нормальной эксплуатации.

В случае, если объект отказал и его работоспособность может быть восстановлена прибывшей ремонтной бригадой, цена отказа – *простой*.

Если же объект (например, транспортное средство) в результате отказа отбуксируется на ремонтную базу с перерывом рейса, цена отказа – *невыполнение задачи*.

Критерий отказа – признак или совокупность признаков работоспособного состояния объекта, установленные в нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Другим событием, характеризующим надежность, является повреждение.

*Повреждение* – событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния.

### **2.3. Характеристики эксплуатации объектов, оцениваемых надежностью**

Важное значение при оценке надежности объектов имеют их особенности, которые определяются следующей классификацией.

Восстанавливаемый объект – объект, для которого в рассматриваемой ситуации проведение восстановления работоспособного состояния предусмотрено в нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Невосстанавливаемый объект – объект, для которого в рассматриваемой ситуации проведение восстановления работоспособного состояния не предусмотрено в нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Характеристика восстанавливаемости объекта связывается с состоянием его работоспособности.

Если же предусматривается восстановление исправности, а не только работоспособности объекта, то применяется термин «ремонт». Чаще всего ремонты являются плановыми. В соответствии с понятием «ремонт» объекты могут быть *ремонтируемыми* (ремонт предусмотрен в документации) и *неремонтируемыми* (ремонт не предусмотрен в документации).

Ремонты (особенно средние и капитальные) предусматривают восстановление ресурса объекта (частичного или полного) путем замены элементов (даже работоспособных).

Если же объект работоспособен и требуется восстанавливать его исправное состояние (причем, как правило, по плану), то выполняется техническое обслуживание. Поэтому по аналогии с предыдущим объекты могут быть *обслуживаемыми* и *необслуживаемыми*.

Эксплуатируемые объекты связаны с продолжительностью процессов или с объемом выполняемой объектом работы. В связи с этим при оценке надежности используются следующие характеристики.

*Наработка* – продолжительность или объем работы объекта. Нарработка, например, транспортных средств может выражаться в единицах времени, количестве циклов работы, пройденном расстоянии (километрах, тысячах километров), массе перевезенного груза (тоннах), пространственно-массовых характеристиках (тонно – километрах) и др.

*Наработка до отказа* – наработка объекта от начала его эксплуатации до возникновения первого отказа. (Для невосстанавливаемого объекта первый отказ является и последним.)

*Наработка между отказами* – наработка объекта от окончания восстановления его работоспособного состояния после отказа до возникновения следующего отказа. (Характеристика относится только к восстанавливаемым объектам.)

*Технический ресурс* – наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта определенного вида до перехода в предельное состояние.

*Срок службы* – календарная продолжительность от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после ремонта определенного вида до перехода в предельное состояние.

*Срок сохраняемости* – календарная продолжительность хранения и (или) транспортирования объекта, в течение и после которой сохраняются значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в установленных пределах.

## **2.4. Показатели надежности систем сервиса**

*Показатель надежности* – количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта.

Показатели надежности могут быть единичными и комплексными.

Единичный показатель надежности характеризует одно из свойств, составляющих надежность объекта, а комплексный показатель – несколько свойств.

Различают показатели безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

### **2.4.1. Показатели безотказности**

*Вероятность безотказной работы* – вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет.

Если в качестве наработки рассматривается время, то вероятность безотказной работы

$$P(t) = \text{Вер} \{T > t\},$$

где  $P(t)$  – функция времени, представляющая собой интегральный закон распределения времени безотказной работы объекта;

$T$  – случайное время безотказной работы от начала эксплуатации до первого отказа;

$t$  – время эксплуатации.

Очевидно, что  $0 < P(t) < 1$ . Вероятность безотказной работы  $P(t)$  и вероятность отказа  $Q(t)$  на интервале времени  $t$  образуют полную группу событий и связаны соотношением  $P(t) + Q(t) = 1$  (рис. 2.3).

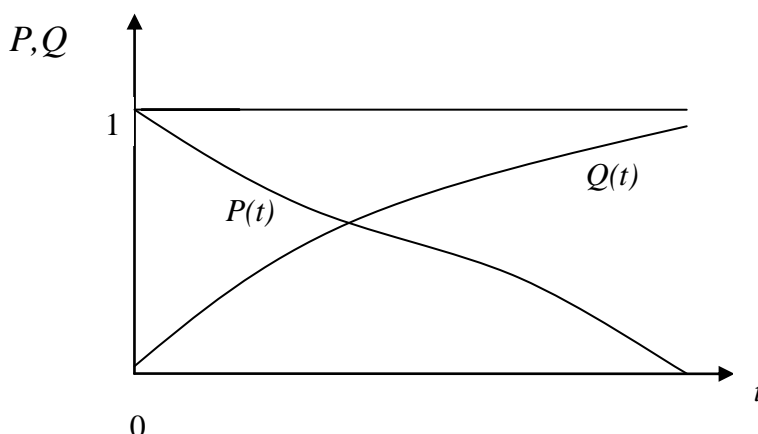


Рис. 2.3. Зависимости  $P(t)$  и  $Q(t)$

Вероятность безотказной работы статистически определяется отношением числа однотипных объектов  $N_s$ , безотказно проработавших до момента времени  $t$ , к числу объектов  $N_o$ , работоспособных в начальный момент времени  $t = 0$ :

$$P^*(t) = \frac{N_s}{N_o} = \frac{N_o - m}{N_o} = 1 - \frac{m}{N_o},$$

где  $m$  – число объектов, отказавших за время  $t$ .

Для режимов хранения и (или) транспортирования могут применяться аналогично определяемые показатели безотказности, например, вероятность безотказного хранения (транспортирования).

Для *невосстанавливаемых* объектов используют такие показатели как интенсивность отказов и средняя наработка до отказа.

*Интенсивность отказов* – условная плотность вероятности возникновения отказа невосстанавливаемого объекта, определяемая для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента отказ не возник:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} \quad (1/ч),$$

где  $f(t)$  – плотность распределения наработки до отказа. Этот показатель не связан с моментом начала работы объекта. Статистически  $\lambda^*(t)$  показывает, какая доля от работающих в некоторый момент времени  $t$  невосстанавливаемых объектов выходит из строя в единицу времени после этого момента:

$$\lambda^*(t) = \frac{\Delta m}{N_o \Delta t} = \frac{\Delta m}{(N_o - m) \Delta t},$$

где  $\Delta m$  – разность между числом отказов к моменту времени  $t + \Delta t$  и числом отказов к моменту времени  $t$ .

Для периода нормальной эксплуатации (рис.2.4) интенсивность отказов чаще всего является величиной постоянной, не зависящей от времени, т.е.

$$\lambda(t) = \lambda = \text{const.}$$

Для интервала приработки характерно снижение интенсивности отказов во времени ввиду быстрого выявления наименее надежных объектов. На интервале нормальной эксплуатации интенсивность отказов стабилизируется.

Интервал износа (старения) показывает резкое увеличение количества отказов, что объясняется приближением объектов к предельному состоянию.

*Средняя наработка до отказа* – математическое ожидание наработки объекта до первого отказа. Для интервала времени нормальной эксплуатации средняя наработка до отказа  $T_o = \frac{1}{\lambda}$ . В соответствии с этим для интервала нормальной эксплуатации чаще всего характерен экспоненциальный закон распределения вероятности безотказной работы

$$P(t) = e^{-\lambda t}.$$

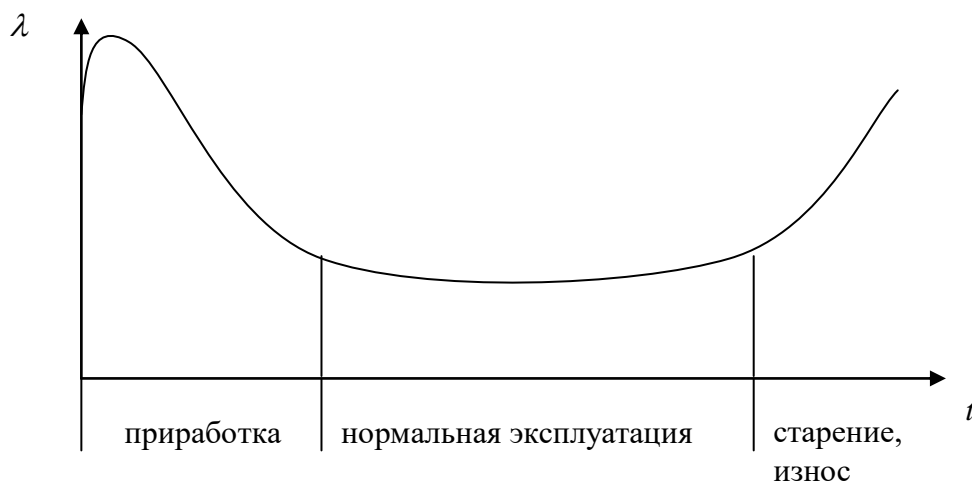


Рис. 2.4. Изменение интенсивности отказов оборудования во времени

Для *восстанавливаемых* объектов показателями безотказности являются параметр потока отказов и средняя наработка на отказ.

*Параметр потока отказов* – отношение среднего числа отказов восстанавливаемого объекта за произвольно малую его наработку к значению этой наработки:

$$\omega(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\bar{m}(t, t + \Delta t)}{\Delta t},$$

где  $\Delta t$  – величина произвольно малой наработки;

$\bar{m}(t, t + \Delta t)$  – среднее число отказов на интервале наработки  $t \div (t + \Delta t)$ .

Отсюда также следует, что  $\omega(t)$  – плотность вероятности возникновения отказа восстанавливаемого объекта, определяемая для рассматриваемого момента времени (математическое ожидание числа отказов в единицу времени, взятое для рассматриваемого момента времени), т.е.  $\omega(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_{>1}(t)}{\Delta t}$ ,

где  $P_{>1}(t)$  – вероятность того, что в течение времени  $\Delta t$  произойдет более одного отказа.

Понятие потока отказов возникает в связи с тем, что для восстанавливаемых объектов характерно чередование работоспособного состояния и восстановления после отказа, т.е. процесс их эксплуатации можно представить чере-



дованием интервалов времени работоспособного и неработоспособного состояния.

Наиболее часто используется (на основании обработки статистических данных) простейший поток, который характеризуется следующими свойствами:

1) ординарностью, заключающейся в том, что вероятность двух или более отказов в течение времени  $\Delta t$  стремится к нулю при его уменьшении;

2) стационарностью, заключающейся в том, что параметр потока отказов является постоянным, т.е.  $\omega(t) = \text{const}$ .

3) отсутствием последствий, т.е. отказы, произошедшие ранее, не влияют на возникновение последующих отказов.

Из перечисленных свойств следует, что при простейшем потоке отказов

$$\omega(t) = \lambda(t) = \omega_0 = \lambda,$$

т.е. параметр потока отказов совпадает с интенсивностью отказов объекта. В этом случае справедливо соотношение  $P(t) = e^{-\omega_0 t}$ .

*Средняя наработка на отказ* – отношение наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки. Другими словами, если наработка представляет собой время, то это математическое ожидание времени между двумя соседними отказами. В общем случае величина средней наработки на отказ зависит от длительности интервала, в течение которого она определяется. Это обусловлено непостоянством характеристики потока отказов.

Согласно определению средняя наработка на отказ

$$T = \frac{t_2 - t_1}{\bar{m}(t_2) - \bar{m}(t_1)},$$

где  $\bar{m}(t_2), \bar{m}(t_1)$  – математические ожидания числа отказов за наработки  $t_2, t_1$  соответственно, ( $t_2 > t_1$ ).

Для интервала нормальной работы при экспоненциальном законе распределения отказов справедливо

$$T = T_0 = \frac{1}{\omega_0}.$$

Показатель  $T_0$  может быть определен на основании статистических данных:

$$T_o^* = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_i,$$

где  $t_i$  – время безотказной работы между  $(i - 1)$ -м и  $i$ -м отказами;

$m$  – общее число отказов.

#### 2.4.2. Показатели долговечности

*Средний ресурс* - математическое ожидание ресурса. Этот термин, а также все последующие термины требуют указания вида действий после наступления предельного состояния. Поэтому средний ресурс может быть:

- а) средним ресурсом до среднего ремонта объекта;
- б) средним ресурсом до капитального ремонта объекта;
- в) средним ресурсом до снятия объекта с эксплуатации (полным средним ресурсом).

Средний ресурс на основе статистических данных определяется так:

$$T_{pec}^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_{pi},$$

где  $t_{pi}$  – ресурс  $i$ -го объекта (оборудования, транспортного средства);

$N$  – количество рассматриваемых объектов.

*Гамма-процентный ресурс* – наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

Гамма-процентный ресурс может быть гамма-процентным ресурсом до среднего ремонта, капитального ремонта, до снятия объекта с эксплуатации (полный гамма-процентный ресурс).

*Назначенный ресурс* – суммарная наработка объектов, при достижении которой применение по назначению должно быть прекращено. Из этого определения следует, что эксплуатация объекта по истечении назначенного ресурса прекращается, независимо от его состояния.

Назначенный ресурс может быть до среднего, капитального ремонта или полным (т.е. до снятия и списания объекта с эксплуатации).

*Средний срок службы* – математическое ожидание срока службы. Срок службы – календарная продолжительность эксплуатации объекта от начала эксплуатации или её возобновления после среднего или капитального ремонта до предельного состояния.

Статистически средний срок службы определяется по формуле:

$$T_{cl}^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_{cl.i},$$

где  $t_{cl.i}$  – срок службы  $i$ -го объекта;

$N$  – число рассматриваемых объектов.

Средний срок службы может быть до среднего, капитального ремонта или полный средний срок службы.

*Гамма-процентный срок службы* – календарная продолжительность от начала эксплуатации объекта, в течение которой он не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах. Гамма-процентный срок службы может быть до среднего, капитального ремонта или полный гамма-процентный срок службы (т.е. до списания объекта).

Могут также использоваться показатели долговечности в виде средних (гамма-процентных) ресурсов или сроков службы между средними ремонтами, между капитальными ремонтами, от последнего капитального ремонта до списания объекта.

*Назначенный срок службы* – календарная продолжительность от начала эксплуатации объекта, при достижении которой применение по назначению должно быть прекращено. Назначенный срок службы может быть до среднего ремонта, капитального ремонта и полный назначенный срок службы (т.е. до списания объекта).

#### 2.4.3. Показатели ремонтпригодности

*Вероятность восстановления работоспособного состояния* - вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния не превысит

заданного, т.е.

$$P(\tau) = \text{Вер} \{t_B < \tau\},$$

где  $t_B$  – фактическая продолжительность работ по восстановлению работоспособного состояния объекта;

$\tau$  – заданная (допустимая) продолжительность работ по восстановлению работоспособного состояния объекта.

При практических расчетах наиболее часто применяется экспоненциальный закон распределения восстановления, для которого справедливо соотношение

$$P(\tau) = 1 - e^{-\mu\tau},$$

где  $\mu$  – интенсивность восстановления;  $\mu = 1/T_B$ ;

$T_B$  – среднее время восстановления.

*Среднее время восстановления* – математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния.

Статистическое значение среднего времени восстановления работоспособности определяется следующим образом:

$$T_B^* = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_{ei},$$

где  $t_{ei}$  – время, затрачиваемое на восстановление работоспособности по причине отказа;  $m$  – число отказов.

Следует отметить некоторую сложность оценивания ремонтпригодности объектов рассмотренными показателями. Это объясняется тем, что показатели  $P(\tau)$ ,  $T_B$  зависят не только от свойств объекта, но и от системы восстановления: средств и методов восстановления, организации работ по восстановлению, квалификации специалистов по ремонту и техническому обслуживанию.

#### 2.4.4. Показатели сохраняемости

*Средний срок сохраняемости* – математическое ожидание срока сохраняемости. (Понятие “сохраняемость” уже было рассмотрено.)

*Гамма-процентный срок сохраняемости* – срок сохраняемости, достигаемый объектом с заданной вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

#### 2.4.5. Комплексные показатели надежности

К таким показателям, отражающим несколько свойств объекта, относятся в первую очередь показатели готовности.

*Коэффициент готовности* – вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объектов по назначению не предусматривается. Этот показатель учитывает как показатель безотказности  $T$ , так и показатель ремонтпригодности  $T_B$ :

$$K_{\Gamma} = \frac{T}{T + T_B}.$$

Эта формула справедлива, если предусматривается немедленное начало восстановления отказавшего объекта. Коэффициент готовности не учитывает время, которое затрачивают на техническое обслуживание. Однако это время влияет на готовность объекта к выполнению основных функций при его использовании по назначению. Поэтому кроме коэффициента готовности используют более общий показатель – коэффициент технического использования.

*Коэффициент технического использования* – отношение математического ожидания интервалов времени пребывания объектов в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к сумме математических ожиданий интервалов времени пребывания объекта в работоспособном состоянии, простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период эксплуатации:

$$K_{т.и.} = \frac{T_{\Sigma}^P}{T_{\Sigma}^P + T_{\Sigma}^{TO} + T_{\Sigma}^B},$$

где  $T_{\Sigma}^P, T_{\Sigma}^{TO}, T_{\Sigma}^B$  – математические ожидания времени пребывания объекта в работоспособном состоянии, суммарного времени простоев из-за технических обслуживаний, суммарного времени, затрачиваемого на ремонты, соответственно.

Для некоторых объектов характерно длительное ожидание использования по назначению (например, резервное оборудование транспортных средств). В режиме ожидания возможны отказы, поэтому возникает необходимость его восстановления. Для подобных объектов используют такой показатель как коэффициент оперативной готовности.

*Коэффициент оперативной готовности* – вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается, и начиная с этого момента будет работать безотказно в течение заданного интервала времени:

$$K_{ог} = K_{г}^{ож} P(t_p),$$

где  $K_{г}^{ож}$  – коэффициент готовности объекта в режиме ожидания;

$$K_{г}^{ож} = T_{ож} / (T_{ож} + T_{в});$$

$T_{ож}$  – среднее время между отказами в режиме ожидания;

$P(t_p)$  – вероятность безотказной работы объекта в течение заданного времени  $t_p$  (в рабочем режиме).

*Коэффициент планируемого применения* – доля периода эксплуатации, в течение которой объект не должен находиться на плановом техническом обслуживании и ремонте:

$$K_{п.п} = \frac{t_3 - T_{\Sigma}^{п.то} - T_{\Sigma}^{п.р}}{t_3} = 1 - \frac{T_{\Sigma}^{п.то} + T_{\Sigma}^{п.р}}{t_3}.$$

Чем безотказнее объект, чем выше его приспособленность к техническому обслуживанию и ремонту и чем совершеннее система технического обслуживания и ремонта, тем выше  $K_{п.п}$ .

Здесь:  $t_3$  – продолжительность эксплуатации объекта;

$T_{\Sigma}^{п.то}, T_{\Sigma}^{п.р}$  – суммарные продолжительности планируемых технических обслуживаний и ремонтов объекта.

*Коэффициент сохраняемости эффективности* – отношение значения показателя эффективности за определенную продолжительность эксплуатации к номинальному значению этого показателя, вычисленному при условии, что отказы объекта в течение того же периода эксплуатации не возникают:

$$K_{c.э} = \frac{\mathcal{E}(t)}{\mathcal{E}_o(t)},$$

где  $\mathcal{E}(t)$  – показатель эффективности объекта, эксплуатируемого в период времени  $t$ ;

$\mathcal{E}_o(t)$  – то же, но при условии, что отказы за время  $t$  отсутствуют.

## **2.5. Факторы, влияющие на надежность систем**

Для оценки надежности с помощью рассмотренных показателей необходимо учитывать факторы, влияющие на надежность. Эти факторы разбивают на две группы: субъективные и объективные.

### **2.5.1. Субъективные факторы**

Субъективные факторы определяются деятельностью обслуживающего персонала. К субъективным факторам относятся: квалификация обслуживающего персонала; соблюдение правил эксплуатации; уровень организации технического обслуживания.

*Квалификация* определяется уровнем подготовленности персонала, знанием назначения и устройства оборудования, условий и правил эксплуатации, умением поддерживать его в работоспособном состоянии, предупреждать появление некоторых отказов и устранять причины возникших отказов. Хорошо подготовленный персонал может обеспечить эксплуатацию, например, транспортных средств с меньшими затратами сил и средств.

*Соблюдение правил эксплуатации* способствует содержанию транспортных средств в работоспособном состоянии. Эти правила предусматривают такие действия персонала, которые лучше обеспечивают эксплуатацию данного транспортного средства.

*Уровень организации технического обслуживания* характеризуется рядом мероприятий (профилактика, снабжение запасными частями и т.п.), направленных на обеспечение эксплуатации с высокими значениями коэффициента готовности. Невыполненная вовремя смазка может привести к отказу узла, а отсутствие в ЗИПе необходимого элемента не позволит быстро восстановить оборудование.

### 2.5.2. Объективные факторы

Объективные факторы определяются временем и условиями эксплуатации и включают: время эксплуатации; климатические факторы; механические факторы; биологические факторы; режимы работы.

Время эксплуатации является одним из основных факторов, который необходимо учитывать на всех этапах эксплуатации. В начальный период эксплуатации выполняются технологические и конструктивные недостатки, что приводит к возрастанию интенсивности отказов в этот период. Длительность этого интервала для различного оборудования может колебаться от нескольких десятков до сотен часов наработки. Для уменьшения этого интервала оборудование подвергается предварительной тренировке (прогону) в течение определенного времени с тем, чтобы до установки на транспортное средство оно выработало время приработки и ненадежные узлы были бы своевременно заменены.

После достаточно *длительной* эксплуатации (несколько тысяч часов работы) на состоянии оборудования начинает сказываться износ (старение), причиной которого являются физико-химические процессы, происходящие в элементах оборудования в течение всего времени эксплуатации. Оборудование начинает чаще отказывать:

а) у переменных резисторов, щеток электрических машин старение (износ) заключается в изменении сопротивления проводящего слоя и его стирании, монтажные провода приходят в негодность из-за высыхания и растрескивания изоляции;



б) механические и электромеханические элементы и узлы больше подвержены износу, чем старению (редукторы, реле, сельсины, подшипники ).

Скорость износа и старения определяется режимами и интенсивностью воздействия других факторов. С целью замедления процесса старения широко применяют герметизацию элементов или целых узлов. Износ механических элементов замедляется своевременным проведением профилактических мероприятий.

Климатические факторы включают: температуру окружающей среды; влажность и атмосферные осадки; атмосферное давление; солнечную радиацию.

Транспортные средства эксплуатируются при различных *температурных* условиях. Сезонные и суточные колебания температуры для различных районов приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Зона	Сезонные колебания	Суточные колебания
Экваториальная (тропики)	+10...+50	40
Умеренная	-20...+40	25
Арктическая	-50...+35	20

Температурное влияние тем больше, чем больше скорость и частота изменения температуры. В наихудших в этом смысле условиях находится оборудование, расположенное вне помещений. При низких температурах пластмассы теряют прочность, резиновые изделия становятся хрупкими и растрескиваются, металлы делаются ломкими, нарушается регулировка зазоров и т.п. Повышенная температура способствует ускорению распада органических изоляционных материалов, перегреву и выходу из строя транзисторов.

*Влажность* является одним из наиболее сильно воздействующих на транспортные средства факторов. Влияние влажности сказывается на ускорен-

ном разрушении лакокрасочных защитных покрытий, нарушении герметизации и заливок, нарушении электрической прочности радиоэлементов, окислении контактов.

*Атмосферные осадки* способствуют возрастанию влажности со всеми вытекающими последствиями. На оборудование, расположенное на судах, сильное влияние оказывают брызги и пыль морской воды.

*Атмосферное давление* оказывает воздействие на оборудование непосредственным и косвенным путем.

Изменение давления в зависимости от высоты полета имеет характер, приведенный в табл. 2.3.

С изменением давления изменяются значения допустимых пробивных напряжений, искажается форма сигналов. Косвенное влияние проявляется через ухудшение с понижением давления отвода тепла от элементов, что может привести к их перегреву. В связи с этим необходимо в процессе эксплуатации следить за состоянием систем охлаждения.

Таблица 2.3

Высота, км	Давление, мм рт.ст.
0,1	700
1,0	670
3,0	520
5,0	405
30,0	8,5

*Солнечная радиация* приводит к тепловому воздействию ультрафиолетовых лучей. Тепловое излучение ухудшает условия охлаждения аппаратуры и способствует ее местному или общему перегреву. Воздействие ультрафиолетовых лучей приводит к активации процессов старения. Все это ведет к быстрому изменению параметров элементов (узлов), что влечет за собой появление отказов.

Механические факторы вызываются ударами и вибрациями в процессе эксплуатации. Удары и вибрации могут привести к нарушению целостности паек, контактов, разрушению электронных ламп, крепежных деталей. Характеристики по вибрациям и перегрузкам различных видов транспорта приведены в табл.2.4.

Практика показывает, что наиболее опасными являются вибрации с частотами 15 – 150 Гц и 175 – 500 Гц. Первому диапазону частот соответствует возникновение резонансных явлений в конструкциях аппаратуры, второму – резонансные явления в электронных лампах, приводящие к разрушению спаек из металла и стекла. Эти обстоятельства вызывают необходимость постоянно следить за средствами амортизации и креплением аппаратуры на транспортном средстве.

Таблица 2.4

Вид транспорта	Вибрации, Гц	Перегрузки, g	Значения частот, соответствующие максимуму перегрузок, Гц
Морской	0...30	1	10...30
Железнодорожный	1,5...400	2	2...8, 30...400
Авиационный	0...300	20	
Автомобильный	0...200	4...5	150...300

Биологические факторы воздействуют на аппаратуру посредством живых организмов: грибковых образований (плесени), насекомых, грызунов и т.п.

Грибковые образования возникают во влажной атмосфере на деталях из органических материалов и питаются продуктами их разложения. Для исключения их возникновения необходимо регулярно выполнять осмотры, постоянно поддерживать условия эксплуатации, установленные эксплуатационной документацией.

Режимы работы оказывают существенное влияние на надежность элементов, узлов и всего оборудования в целом. Уменьшение нагрузок способствует увеличению надежности. Режим работы оценивается через коэффициент нагрузки

$$K_H = \frac{H_p}{H_o},$$

где  $H_p$  – рабочая нагрузка;  $H_o$  – номинальная нагрузка.

Естественно, что работа элементов при предельно допустимых нагрузках сокращает их срок службы и не гарантирует надежной работы. Коэффициент нагрузки для электротехнических средств обычно составляет 0,4 – 0,6, а для особо важной аппаратуры берется равным 0,1.

Характерное распределение отказов по объективным причинам показано в табл.2.5.

Таблица 2.5

<b>Внешние факторы</b>	<b>Процент отказов</b>
Удары и вибрации	28,7
Низкая температура	24,1
Высокая температура	23,1
Влажность	13,9
Высота	4,2
Ускорение	3,2
Соленые брызги	1,9
Прочие	0,9
Всего	100

Следует отметить, что улучшению эксплуатации способствует надежно работающая служба сбора и обработки данных эксплуатации транспортных средств. Эта информация позволяет быстрее совершенствовать технические средства, улучшать их характеристики, лучше организовать систему технического обслуживания, обоснованно обеспечивать ЗИПом и прогнозировать возможные отказы.

## 2.6. Методы, используемые для определения показателей надежности

### *Математические (аналитические) методы*

Для определения показателей надежности широко используются математические методы.

Сущность использования математических методов состоит в следующем.

1. Анализируется объект и строится так называемая структурная схема надежности (ССН) – условная схема, учитывающая влияние элементов и связей между ними на работоспособность оборудования в целом (объекта). Она может существенно отличаться от структурной и функциональной схем объекта.

Возможны два вида соединения элементов: последовательное и параллельное.

Последовательное соединение элементов имеет место в том случае, когда отказ каждого из них приводит к отказу объекта. Например, для обеспечения потребителей электроэнергией на судне используется два маломощных генератора  $G_1$ ,  $G_2$ , соединенных параллельно. Отказ хотя бы одного из них приводит к прекращению подачи потребителям требуемой электроэнергии. Поэтому ССН в этом случае имеет вид, приведенный на рис. 2.5.



Рис.2.5. Последовательное соединение генераторов

Если отказ части элементов объекта не приводит к его отказу, то ССН представляется *параллельным* соединением элементов (рис. 2.6).

Для объекта, состоящего из  $N$  элементов, которые функционально необходимы, ССН имеет вид, приведенный на рис. 2.7.

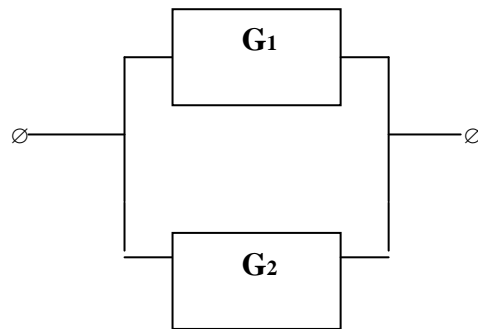


Рис.2.6. Параллельное соединение генераторов

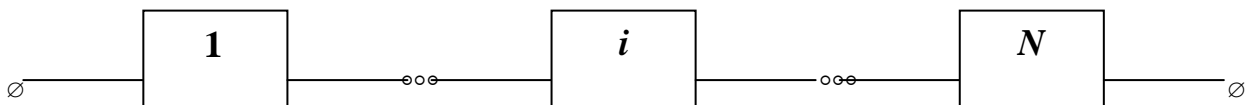


Рис.2.7. ССН для объекта, состоящего из многих элементов

В этом случае показатели безотказности объекта рассчитывают через показатели элементов по следующим формулам:

интенсивность отказов  $\Lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i ;$

вероятность безотказной работы  $P(t) = \prod_{i=1}^N p_i(t).$

Если  $p_1(t) = \dots = p_i(t) = \dots = p_N(t) = p(t)$ , то  $P(t) = p^N(t)$ .

В случае использования экспоненциального закона распределения времени безотказной работы

$$P(t) = e^{-\sum_{i=1}^N \lambda_i t_i},$$

где  $t_i$  – необходимая продолжительность выполнения функций  $i$ -м элементом объекта.

При идентичности всех  $N$  элементов  $P(t) = e^{-N\lambda_i}$ .

2. Для определения показателей  $\lambda(t), \omega(t), p(t), p(\tau), T_o, T$  широко используется аппарат теории вероятностей (так как все показатели являются случайными величинами).

3. Применительно к механическим элементам объектов показатели надежности определяются не только с помощью методов теории вероятностей, но и методов, основанных на теории прочности, упругости, текучести материалов, из которых изготовлены эти элементы. Особенно важно такое комбинированное использование методов для определения показателей долговечности объектов.

#### *Статистические методы*

Методы сбора, обработки данных о состоянии объектов в процессе их эксплуатации используются для определения показателей надежности в двух направлениях:

- 1) для определения  $\lambda(t), \omega(t), T_o, T, T_B$ , а затем на их основе аналитическими методами – остальные показатели надежности;
- 2) для определения непосредственно интересующих нас показателей надежности только статистическим путем.

Статистические методы определения показателей надежности предполагают использование теории математической статистики для определения:

- средних значений рассматриваемых случайных величин;
- дисперсий этих величин;
- законов распределения этих величин;
- оценки достоверности (степени доверия) полученных результатов.

## *Методы ускоренных испытаний*

Эти методы используются при отсутствии необходимых статистических данных и предполагают постановку элементов, отдельных устройств в режимы, заведомо более тяжелые, чем нормальный. Полученные данные по продолжительности безотказной работы затем «приводятся» к нормальному режиму, т.е. по определенным корректировочным зависимостям находятся показатели для нормального решения.

Таким образом, искусственное ужесточение условий работы элементов позволяет в течение короткого времени оценить их возможности по выполнению своих функций.

Недостатки методов ускоренных испытаний:

- трудности установления корректировочных зависимостей;
- не для всех элементов можно проводить такие испытания;
- метод связан с материальными затратами (искусственный вывод из строя элементов).

К наиболее сложным, но и наиболее важным методам оценки надежности транспортных средств относятся методы, основанные на теории прочности, а также теориях упругости, текучести и др. Этими методами оценивается, в первую очередь, свойство долговечности транспортных средств, транспортного оборудования и других составных частей транспортных систем.

Рассмотрим вначале методы определения безотказности транспортных систем сервиса.

### **2.7. Расчет показателей безотказности систем сервиса**

При оценке надежности систем сервиса необходимо рассматривать элементы этих систем и их совокупности. Системы сервиса могут состоять из различных элементов (например, подъемно-транспортное оборудование, конвейерное оборудование, вспомогательные транспортные средства и др.). Наиболее



часто приходится оценивать надежность системы сервиса, состоящей из одинаковых элементов. К этим системам относятся, например, совокупности транспортных средств, выполняющих функции сервиса. Наиболее характерной такой системой является автобусный парк, обслуживающий пассажиров по их доставке в аэропорт и обратно. В этом случае для оценки безотказности автобуса будем использовать наработку в виде пройденного расстояния  $l$  (км). Тогда вероятность безотказной работы автобуса в течение наработки  $l$  обозначим  $P(l)$ . Значение  $P(l)$  рассчитывается по формуле

$$P(l) = e^{-l/L},$$

где  $L$  – средняя наработка между отказами (средний пробег между отказами автобуса).

Вероятность безотказной работы  $m$  автобусов

$$P_{(m)}(l) = P^m(l) = (e^{-l/L})^m = e^{-ml/L}.$$

Если в автопарке для перевозки пассажиров выделяется  $n$  автобусов, а требуется  $m$  ( $m < n$ ) автобусов, то вероятность безотказной работы  $m$  автобусов из  $n$  можно определить по формуле

$$P_{(m/n)}(l) = \sum_{i=m}^n C_n^i P^i(l) Q^{n-i}(l),$$

где  $Q(l)$  – вероятность отказа автобуса при пробеге расстояния  $l$ ,  $Q(l) = 1 - P(l)$ ;

$C_n^i$  – число сочетаний из  $n$  по  $i$ ;  $C_n^i = \frac{n!}{i!(n-i)!}$ ;  $C_n^n = 1$ .

Формула учитывает все благоприятные ситуации, т.е. такие, когда безотказно работает не менее  $m$  автобусов из  $n$ .

Рассмотрим расчет показателей безотказности систем сервиса на примере.

Пусть для доставки пассажиров в аэропорт из центра города (расстояние 15 км) требуется три работоспособных автобуса из расчета на один самолетовылет. Средняя наработка на отказ автобуса – 750 км. После десяти часов работы каждый автобус проходит ежедневное техническое обслуживание, при котором в случае обнаружения отказов работоспособность автобуса восстанавлива-

ют. Требуется определить, какова вероятность успешной доставки всех пассажиров на самолето-вылет тремя назначенными по плану автобусами. Кроме того, необходимо определить, сколько следует планировать автобусов на один самолето-вылет, чтобы вероятность успешной доставки пассажиров составляла не менее 99%. Наконец, требуется определить, какова вероятность безотказной работы одного автобуса за рабочую смену. Известно, что средняя скорость автобуса равна 40 км/ч.

Представим исходные данные задачи в формализованном виде.

Расстояние от центра города до аэропорта  $l = 15$  км;

средняя скорость автобуса  $v_{\text{ср.}} = 40$  км/ч;

средняя наработка автобуса на отказ  $L = 750$  км;

интервал времени работы между ежедневными техническими обслуживаниями

$t_{\text{ЕТО}} = 10$  ч;

требуемая вероятность успешной доставки пассажиров на самолет-вылет

$P^* = 99\% = 0,99$ ;

требуемое количество автобусов  $m = 3$ .

Определить: вероятность успешной доставки пассажиров тремя автобусами  $P_{(3)}$ ; количество планируемых для перевозки автобусов  $n^*$  (на один самолето-вылет), при котором обеспечивается вероятность  $P^*$ ; вероятность безотказной работы одного автобуса за рабочую смену  $P(l_{\text{см}})$ .

*Решение.*

1. Вероятность успешной доставки пассажиров тремя автобусами в соответствии с формулой для  $P_{(m)}(l)$

$$P_{(3)}(l) = e^{-3/l} = e^{-3 \cdot 15/750} = e^{-0,06} = 0,9418.$$

2. Поскольку при выделении трех автобусов ( $m=3$ ) имеем  $P_{(3)}(l) < P^*$ , то рассмотрим случай выделения четырех автобусов ( $n=4$ ). Тогда в соответствии с формулой для  $P_{(m/n)}(l)$  получим:

$$P_{(3/4)}(l) = \sum_{i=3}^4 C_4^i P^i(l) [1 - P(l)]^{4-i} = C_4^3 P^3(l) [1 - P(l)]^{4-3} + C_4^4 P^4(l) [1 - P(l)]^{4-4} =$$

$$= \frac{4!}{3!(4-3)!} P^3(l)[1-P(l)] + 1 \cdot P^4(l) \cdot 1 = 4P^3(l)[1-P(l)] + P^4(l) = P^3(l)[4-4P(l)+P(l)] =$$

$$= P^3(l)[4-3P(l)] = P_{(3)}(l)[4-3P(l)].$$

В соответствии с формулой для  $P(l)$  имеем:

$$P(l) = e^{-15/750} = e^{-0,02} = 0,9802.$$

Используя это значение и найденное ранее  $P_{(3)}(l)$ , можем определить:

$$P_{(3/4)} = 0,9418(4 - 3 \cdot 0,9802) = 0,9418 \cdot 1,0594 = 0,9977.$$

Это значение превышает  $P^* = 0,99$ , поэтому достаточно выделить  $n^* = 4$  автобуса из расчета на один самолето-вылет.

3. Для определения вероятности безотказной работы одного автобуса за рабочую смену  $P(l_{см})$  найдем вначале  $l_{см}$ . Используя значения  $t_{ЕТО}$  как интервал времени, означающий продолжительность смены  $t_{см}$ , и среднюю скорость автобуса  $v_{см}$ , получим:

$$l_{см} = v_{см} t_{см} = 40 \cdot 10 = 400 \text{ км.}$$

Поэтому

$$P(l_{см}) = e^{-400/750} = e^{-0,5333} \approx 0,602.$$

Следовательно, почти в 40% случаев при ЕТО в каждом автобусе обнаруживаются отказы и требуется восстановление работоспособности.

## 2.8. Расчет показателей ремонтпригодности систем сервиса

Соотношения, рассмотренные в разделе 2.4.3, позволяют оценивать ремонтпригодность систем сервиса. Рассмотрим их использование на примерах.

Пример 1. В период предполетной подготовки обнаружен отказ системы кондиционирования в салоне самолета. Характеру отказа соответствует среднее время восстановления 0,5 часа. До объявления посадки на самолет остается 1 час. Какова вероятность восстановления системы кондиционирования к требуемому времени?

Представим исходные данные задачи в формализованном виде:

среднее время восстановления системы кондиционирования  $T_g = 0,5$  ч;

допустимое время восстановления  $\tau = 1$  ч.

*Решение.* В соответствии с формулами  $P(\tau) = 1 - e^{-\mu\tau}$ ,  $\mu = 1/T_g$  получим

$$P(\tau) = 1 - e^{-\frac{\tau}{T_g}} = 1 - e^{-\frac{1}{0,5}} = 1 - e^{-2} = 1 - 0,1353 = 0,8647 \approx 86,5\%.$$

Пример 2. В автопарке проводился сбор статистических данных времени восстановления автобусов, обслуживающих аэропорт. В результате первичной обработки информации определены виды отказов и средние (по множеству всех автобусов) затраты времени восстановления  $t_{ei}$ , соответствующие  $i$ -му виду отказа. Эти данные представлены в табл.2.6.

Таблица 2.6

Номер вида отказа $i$	1	2	3	4	5	6	7
Среднее время восстановления $t_{ei}$ , ч	0,7	0,5	1,8	1,5	3	2,5	4

Требуется определить среднее время восстановления автобуса за временной интервал между сменами  $t_{м.см} = 3$  ч (продолжительность ЕТО).

*Решение.*

$$1. T_B^* = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_{ei} = \frac{1}{7} (0,7 + 0,5 + 1,8 + 1,5 + 3 + 2,5 + 4) = \frac{1}{7} \cdot 14 = 2 \text{ ч.}$$

$$2. P(\tau) = 1 - e^{-\frac{\tau}{T_B^*}}, \text{ где } \tau = t_{м.см} = 3 \text{ ч; } T_B = T_B^* = 2 \text{ ч.}$$

Тогда  $P(\tau) = 1 - e^{-\frac{3}{2}} = 1 - 0,2231 = 0,7769 \approx 77,7\%$ .

## 2.9. Влияние безотказности и ремонтпригодности систем сервиса на продолжительность обслуживания систем

Обслуживаемые системы характеризуются всеми рассмотренными ранее показателями надежности. Надежность систем сервиса влияет на продолжительность обслуживания и на вероятность его выполнения за время, не превышающее заданного. Поскольку обслуживание объектов сервиса заключается в проведении технических обслуживаний и ремонтов, то средняя продолжительность технического обслуживания объекта с учетом надежности системы сервиса

$$T_{TO} = t_{TO}^{nl} + [1 - k_G^c P^c(t_{TO}^{nl})] T_B^c,$$

где  $t_{TO}^{nl}$  – средняя продолжительность проведения соответствующего планового технического обслуживания объекта при работоспособных средствах сервиса;

$$k_G^c \text{ – коэффициент готовности системы сервиса; } k_G^c = \frac{T^c}{T^c + T_B^c};$$

$T^c$  – средняя наработка на отказ средств системы сервиса;

$T_B^c$  – среднее время восстановления средств системы сервиса;

$P^c(t_{TO}^{nl})$  – вероятность безотказной работы средств системы сервиса за время, не меньшее  $t_{TO}^{nl}$ .

Аналогично средняя продолжительность ремонта объекта

$$T_p = t_p + [1 - k_G^c P^c(t_p)] T_B^c,$$

где  $t_p$  – средняя продолжительность соответствующего вида ремонта объекта при работоспособных средствах сервиса.

Рассмотрим пример оценки влияния безотказности и ремонтпригодности средств сервиса на продолжительность технического обслуживания.

Пусть средняя наработка на отказ средств системы сервиса составляет 300 часов, а среднее время восстановления этих средств равно 14 часам. Средняя продолжительность планового технического обслуживания объекта при работоспособных средствах сервиса – 10 часов. Требуется определить среднюю продолжительность технического обслуживания с учетом надежности средств сервиса. Кроме того, следует определить, как изменится этот показатель при уменьшении средней наработки на отказ средств сервиса в два раза.

В соответствии с условием задачи и приведенными выше обозначениями имеем:

$T^c = 300\text{ч}; T_B^c = 14\text{ч}; t_{TO}^{nl} = 10\text{ч}; T_1^c / T_1^c = 2$ . Требуется найти  $T_{TO}$  и  $T_{TO}^{(1)}$  при  $T_1^c$ , т.е. при уменьшенной в два раза средней наработке на отказ средств сервиса. Окончательно следует найти отношение  $T_{TO}^{(1)}$  к  $T_{TO}$  для оценки изменения средней продолжительности технического обслуживания при ухудшении безотказности средств сервиса.

*Решение.*

Согласно формуле для  $T_{TO}$  определим вначале  $k_\Gamma^c, P^c(t_{TO}^{nl})$ :  $k_\Gamma^c = \frac{T^c}{T^c + T_B^c}$ ;

$$k_\Gamma^c = \frac{300}{300 + 14} = \frac{300}{314} = 0,9554; \quad P^c(t_{TO}^{nl}) = \exp\left(-\frac{t_{TO}^{nl}}{T^c}\right); \quad P^c(t_{TO}^{nl}) = e^{-\frac{10}{300}} = e^{-0,033} = 0,9672.$$

Теперь последовательно найдем:

$$k_\Gamma^c P^c(t_{TO}^{nl}) = 0,9554 \cdot 0,9672 = 0,9240; \quad 1 - k_\Gamma^c P^c(t_{TO}^{nl}) = 1 - 0,9240 = 0,076;$$

$$\left[1 - k_\Gamma^c P^c(t_{TO}^{nl})\right] T_B^c = 0,076 \cdot 14 = 1,064 \quad \text{и на основании этого и общей формулы для}$$

$$T_{TO} \text{ получим} \quad T_{TO} = 10 + 1,064 \approx 11 \text{ ч.}$$

По аналогии с выполненными расчетами произведем вычисление  $T_{TO}^{(1)}$ .

При этом учтем, что согласно условию задачи  $T_1^c = \frac{T^c}{2} = \frac{300}{2} = 150$ . Тогда последовательно найдем:

$$k_{\Gamma(1)}^c = \frac{T_1^c}{T_1^c + T_B^c} = \frac{150}{150 + 14} = \frac{150}{164} = 0,9146; \quad P_{(1)}^c(t_{TO}^{nl}) = \exp\left(-\frac{t_{TO}^{nl}}{T_1^c}\right) = e^{-\frac{10}{150}} = e^{-0,066} = 0,9372;$$

$$k_{\Gamma(1)}^c P_{(1)}^c(t_{TO}^{nl}) = 0,9146 \cdot 0,9372 = 0,857; \quad 1 - k_{\Gamma(1)}^c P_{(1)}^c(t_{TO}^{nl}) = 1 - 0,857 = 0,143;$$

$$\left[1 - k_{\Gamma(1)}^c P_{(1)}^c(t_{TO}^{nl})\right] T_B^c = 0,143 \cdot 14 = 2,002 \approx 2\text{ч} \quad \text{и} \quad T_{TO}^{(1)} = 10 + 2 = 12 \text{ ч.}$$

Таким образом,  $\frac{T_{TO}^{(1)}}{T_{TO}} = \frac{12}{11} = 1,09$ , т.е. продолжительность технического об-

служивания при ухудшении безотказности средств сервиса увеличится на 9%.

## 2.10. Основы расчета показателей долговечности систем сервиса

### 2.10.1. Основные расчетные соотношения

В основу расчета показателей долговечности положен учет следующих факторов:

- 1) среднее значение нагруженности (нагружения) элемента конструкции  $\bar{H}$ ;
- 2) среднее значение показателя сопротивляемости материала элемента конструкции  $\bar{R}$ ;
- 3) среднеквадратические отклонения показателей нагружений и сопротивляемости  $S_H$  и  $S_R$ ;
- 4) заданное значение  $\gamma$ , %.

Чем больше сопротивляемость материала по сравнению с нагружением, тем больше ресурс этого элемента. По мере увеличения суммарной наработки элемента значение  $\bar{R}$  уменьшается и приближается к значению  $\bar{H}$ . В этом случае с учетом случайных отклонений величин  $R$  и  $H$  могут возникать ситуации, когда  $R \leq H$ , что соответствует отказу элемента. Вероятность того, что этого не произойдет в течение времени  $t_D$  ( $D$  – долговечность) подчиняется нормальному закону, т.е.

$$P(t_D) = \Phi(u_p), \quad (*)$$

где  $\Phi(u_p)$  – функция нормального распределения вероятностей;

$u_p$  – квантиль нормального распределения.

Применительно к долговечности элементов

$$u_p = \frac{\bar{R} - \bar{H}}{\sqrt{S_R^2 + S_H^2}}.$$

Уменьшение величины  $R$  зависит от материала и условий его работы. При этом изменение  $R$  определяется продолжительностью работы элемента, числом циклов работы, параметром, учитывающим усталостную кривую прочности. Если задается величина  $\gamma$ , то ей соответствует определенное значение  $u_p$  (т.е.  $u_p$  есть  $u_p(\gamma)$ ).

Тогда, решая уравнение (\*) относительно  $t_D$ , получим выражение для  $t_D$ :

$$t_D(\gamma) = \frac{N_a}{n} \left[ \frac{\bar{k}_c}{1 + u_p(\gamma) \sqrt{\bar{k}_c^2 v_R^2 + v_H^2}} \right]^{m_n},$$

где  $N_a$  – номинальное число циклов, после достижения которого прочность материала начинает снижаться;

$n$  – число циклов нагружения элемента в единицу времени;

$\bar{k}_c = \bar{R}/\bar{H}$ ;  $v_R = S_R/\bar{R}$ ;  $v_H = S_H/\bar{H}$ ;  $v_R, v_H$  – коэффициенты вариации прочности и

нагружения;

$m_n$  – степень влияния цикличности на прочность материала.

### 2.10.2. Расчет показателей долговечности систем сервиса

*Задача.* Вращающийся узел станка на станции технического обслуживания автомобилей характеризуется следующими параметрами:

частота вращения  $n = 1000$  об/мин;

эквивалентное напряжение нагружения узла (математическое ожидание)

$\bar{\sigma}_H = 50$  МПа;

коэффициент вариации нагружения  $v_H = 0,1$ ;

математическое ожидание сопротивляемости узла  $\bar{\sigma}_{ПЧ} = 880$  МПа;

коэффициент вариации сопротивляемости узла  $v_{ПЧ} = 0,05$ ;

параметры усталостной прочности –  $N_a = 2,9 \cdot 10^5$ ,  $m_n = 3$ .

Определить гамма-процентный ресурс узла для значений  $\gamma = 90\%$ ,  $94\%$ ,  $96\%$ ,  $99\%$ . Построить график  $t_D(\gamma)$ .

*Решение.* В соответствии с формулой для  $t_D(\gamma)$  последовательно определим следующие показатели.

$$1. \bar{k}_c = \frac{\bar{\sigma}_{ПЧ}}{\bar{\sigma}_H} = \frac{880}{50} = 17,9 \quad (\text{здесь } \bar{\sigma}_{ПЧ} \text{ соответствует величине } \bar{R}, \text{ а } \bar{\sigma}_H \text{ – величине } \bar{H}).$$

2. Значения  $u_p$  определим с помощью таблиц функции нормального распределения  $\Phi(x)$  с учетом того, что  $\gamma = \Phi, u = x$ :



$\gamma, \%$	90	94	96	99
$u_p(\gamma)$	1,28	1,55	1,75	2,33

3.  $n_{[об/ч]} = 60 n_{[об/мин.]} = 60 \cdot 1000 = 6 \cdot 10^4$  об/ч.

4.  $B = u_p \sqrt{\bar{k}_c^2 v_{Пч}^2 + v_H^2} = u_p \sqrt{17,6^2 \cdot 0,05^2 + 0,1^2} = 0,88566 u_p.$

5. Для  $\gamma = 90\%$  имеем  $u_p = 1,28$  и  $X = \frac{\bar{k}_c}{1+B} = \frac{17,6}{1+0,88566 \cdot 1,28} = 8,2488;$

аналогично для  $\gamma = 94\%$  и  $u_p = 1,55$  получим  $X = \frac{17,6}{1+0,88566 \cdot 1,55} = 7,4174;$

для  $\gamma = 96\%, u_p = 1,75$  значение  $X = \frac{17,6}{1+0,88566 \cdot 1,75} = 6,902;$

для  $\gamma = 99\%, u_p = 2,33$  значение  $X = \frac{17,6}{1+0,88566 \cdot 2,33} = 5,7447.$

6.  $t_D(\gamma) = \frac{N_a}{n_{[об/ч]}} X^{m_n} = \frac{2,9 \cdot 10^5}{6 \cdot 10^4} X^3 = 4,8333 X^3.$  Подставляя в эту формулу зна-

чения  $X$  для соответствующих значений  $\gamma$ , получим:

для  $\gamma = 90\%$   $t_D(\gamma) = 4,8333 \cdot 8,2488^3 \approx 2713$  ч; для  $\gamma = 94\%$

$t_D(\gamma) = 4,8333 \cdot 7,4174^3 \approx 1972$  ч;

для  $\gamma = 96\%$   $t_D(\gamma) = 4,8333 \cdot 6,902^3 \approx 1589$  ч; для  $\gamma = 99\%$

$t_D(\gamma) = 4,8333 \cdot 5,7447^3 \approx 916$  ч.

7. На основании полученных результатов можно построить график зависимости  $t_D$  от  $\gamma$  (рис.2.8).

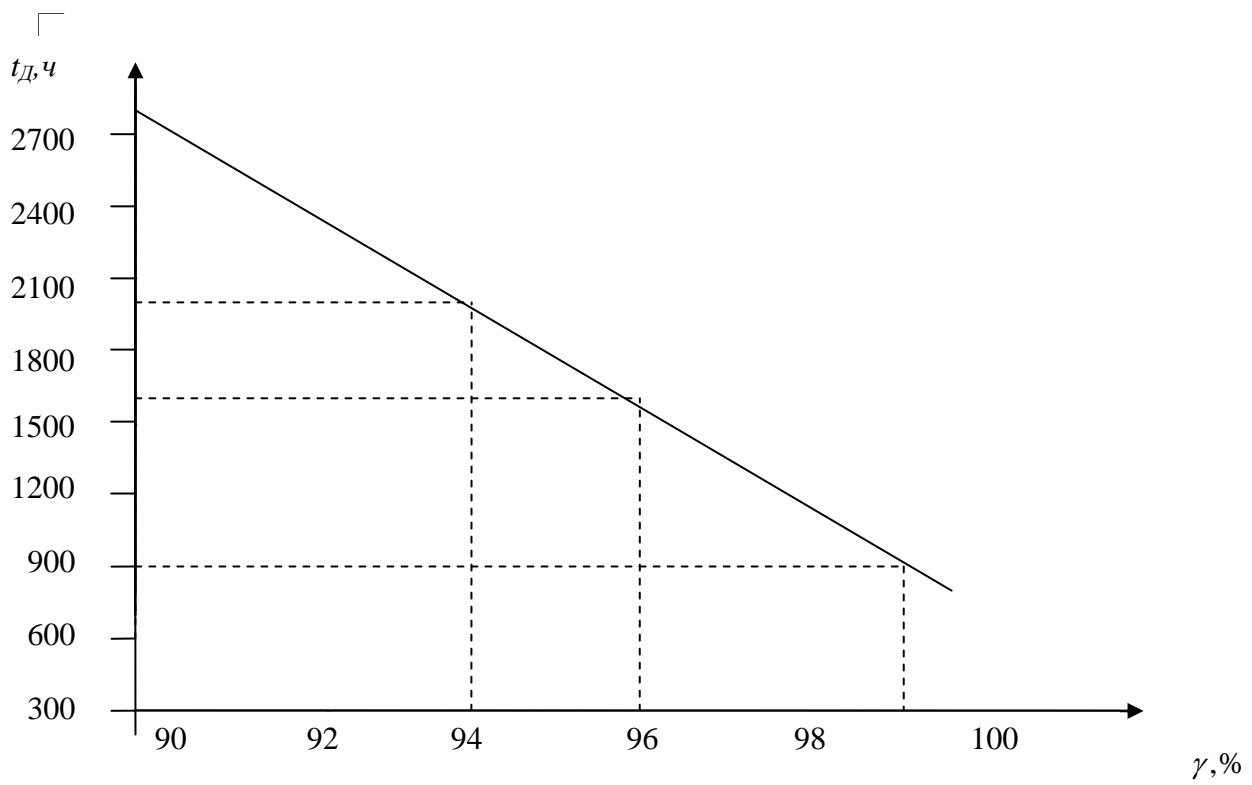


Рис. 2.8. Зависимость гамма-процентного ресурса вращающегося узла станка от значений  $\gamma$

### **3. ОСНОВЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МАШИН, ПРИБОРОВ, АППАРАТОВ И УСТРОЙСТВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СИСТЕМАХ СЕРВИСА**

#### **3.1. Классификация функциональных элементов систем сервиса**

Элементы, входящие в состав систем сервиса, выполняют в них определённые функции. Их можно называть функциональными элементами. К таким элементам могут быть отнесены машины различного типа (например, автомобили для подвоза грузов от клиентов до основного пункта отправления, откуда осуществляется перевозка на большое расстояние). Кроме того, функциональными элементами могут быть приборы, аппараты, устройства, обеспечивающие необходимые условия перевозимым пассажирам или грузам. Наконец, функциональными элементами систем сервиса могут быть различные машины, устройства, используемые для технического обслуживания и ремонта транспортных средств.

Обобщая изложенное, можно сформулировать основные признаки классификации функциональных элементов систем сервиса (ФЭ): подвижность; физическая природа; законы, в соответствии с которыми действуют ФЭ. Поэтому ФЭ можно классифицировать так.

По характеру подвижности: подвижные (перемещающиеся в пространстве), неподвижные (закрепленные стационарно);

По физической природе: механические, гидромеханические, электромеханические, электрические, электромагнитные, оптические, электронно-оптические;

По законам, в соответствии с которыми функционируют элементы: элементы, функционирующие по законам механики; элементы, функционирующие по законам термодинамики; элементы, функционирующие по законам электричества; элементы, функционирующие по законам оптики.

## 3.2. Законы функционирования технических элементов систем сервиса

### 3.2.1. Фундаментальные законы естествознания

Технические элементы систем сервиса функционируют в соответствии с фундаментальными законами естествознания. Фундаментальные законы – это законы, составляющие основу естествознания. Они справедливы для всех областей естествознания.

Рассмотрим фундаментальные законы естествознания.

**Закон сохранения массы вещества:** при всех преобразованиях количество данного вещества остаётся неизменным. В соответствии с этим законом его математическая форма имеет вид:

$$dm = d\left(\sum_{i=1}^M m_i\right) = 0,$$

где  $m$  – масса вещества;

$m_i$  – масса  $i$ -й частицы вещества;

$M$  – количество частиц вещества.

**Закон периодичности свойств химических элементов:** свойства химических элементов, а также формы и свойства соединений элементов находятся в периодической зависимости от заряда ядер их атомов.

Форма представления закона – периодическая таблица элементов, впервые созданная Д.И. Менделеевым. Она содержит сведения об атомной массе, ядерном заряде, количестве электронов на каждом уровне, отсчитываемом от ядра. Все химические элементы в таблице размещаются по периодам (горизонтальные строки) и по группам (вертикальные столбцы). Свойства элементов соответствуют номерам периодов и групп.

**Закон первопричинности процессов в природе:** для осуществления какого-либо процесса необходимо создать разность соответствующих потенци-

алов. Потенциалами могут быть: температура (разность температур служит причиной осуществления теплового процесса); сила (разность сил приводит к механическому движению тела); электрический потенциал (разность электрических потенциалов вызывает направленное перемещение электронов, т.е. электрический ток).

Математическое отображение закона:

$$\frac{dI}{d\tau} = k(P_a - P_r),$$

где  $I$  – количественная мера процесса (в механике  $I_{\text{мех}} = mw$ ,  $m$  – масса тела,  $w$  – скорость движения; в термодинамике –  $I_{\text{теп}} = q_T$ ,  $q_T$  – количество теплоты; в электрических процессах  $I_{\text{эл}} = q_{\text{эл}}$ ,  $q_{\text{эл}}$  – электрический заряд);

$P_a$  – активное (положительное) значение потенциала;

$P_r$  – реактивное (противодействующее) значение потенциала;

$k$  – коэффициент пропорциональности между количественной мерой процесса и его потенциалами;

$\tau$  – время.

**Закон сохранения и превращения энергии:** энергия не может исчезать и прибывать, а может лишь по определенным законам преобразовываться в её различные формы.

Энергия является общей мерой различных форм материи: механической, тепловой, электромагнитной, химической и ядерной. То есть энергия как форма существования материи может проявляться в различных формах, но её количество остаётся неизменным.

Математическое выражение закона:

$$dA = \sum_{j=1}^k d\mathcal{E}_j,$$

где  $A$  – механическая энергия (работа), Дж;

$\mathcal{E}_j$  – соответствующая  $j$ -я форма энергии (тепловая, электромагнитная, химическая, ядерная).

**Закон взаимодействия материи в физическом поле:** сила взаимодействия двух элементов материи пропорциональна произведению величин их параметров в физическом поле и обратно пропорциональна квадрату расстояния между этими элементами, т.е.

$$F_{ij} = k_{\phi} \frac{h_i h_j}{r_{ij}^2},$$

где  $h_i, h_j$  – величины одноимённых параметров  $i$ -го и  $j$ -го элементов материи в физическом поле соответствующего вида;

$r_{ij}$  – расстояние между  $i$ -м и  $j$ -м элементами (много большее геометрических размеров этих элементов);

$k_{\phi}$  – коэффициент пропорциональности.

Для гравитационного поля  $h_i=m_i, h_j=m_j$  – массы тел, для электрического поля  $h_i=q_i, h_j=q_j$  – величины зарядов. Этот закон открыли Галилео Галилей – для гравитационного поля, Шарль Кулон – для электрического поля.

Система фундаментальных законов служит теоретической основой построения и познания технических объектов различных систем, в том числе и систем сервиса.

### 3.2.2. Законы механики

В механических системах потенциалами системы является вектор силы, а обобщенным параметром – скорость движения. В соответствии с фундаментальным законом первопричинности процессов в природе для механического движения получим уравнение

$$\frac{d\bar{w}}{d\tau} = k_m \Delta \bar{P}.$$

Коэффициент сопротивления механическому движению характеризует свойство механического процесса сохранять состояние покоя или равномерного движения. Стремление тела сохранять состояние покоя или равномерного движения называется *инерцией*. Понятие об инерции составляет сущность первого закона механики, сформулированного Ньютоном: всякое тело обладает инерци-

ей, т.е. свойством сохранять состояние покоя или равномерного движения до тех пор, пока это состояние не изменит воздействие других тел.

Мерой инерции является масса тела  $m$ , а коэффициент сопротивляемости проведению механического процесса

$$k_M = \frac{1}{m}.$$

Тогда уравнение механического движения примет вид:

$$\frac{d\vec{w}}{d\tau} = \frac{1}{m} \Delta\vec{P}.$$

Левая часть уравнения характеризует быстроту изменения скорости и называется ускорением, которое обозначается  $\vec{a}$ , т.е.

$$\vec{a} = \frac{d\vec{w}}{d\tau}.$$

С учетом понятия об ускорении

$$\vec{a} = \frac{1}{m} \Delta\vec{P} \quad \text{или} \quad m \cdot \vec{a} = \Delta\vec{P}.$$

Это выражение соответствует второму закону механики: произведение массы тела на его ускорение равно разности сил.

В механических системах разность потенциалов (т.е. сил) возникает как результат действия тел друг на друга. Взаимодействие между телами определяется третьим законом механики: силы, с которыми тела действуют друг на друга, всегда равны по модулю и действуют по одной прямой, соединяющей точки приложения сил к телам. Уравнение, отображающее этот закон, имеет вид:

$$\vec{P}_a = -\vec{P}_R.$$

В механике существуют различные виды движения. Применительно к техническим средствам сервиса следует выделить два вида движения: вращательное и поступательное.

### 3.3. Вращательное движение и его параметры

#### 3.3.1. Модель вращательного движения и основные соотношения

*Вращательное движение:* движение тела, отдельные точки которого описывают окружности разных радиусов с центрами, лежащими на неподвижном перпендикуляре к плоскости тела (на оси).

Основные параметры вращательного движения можно уяснить из схемы (рис.3.1).

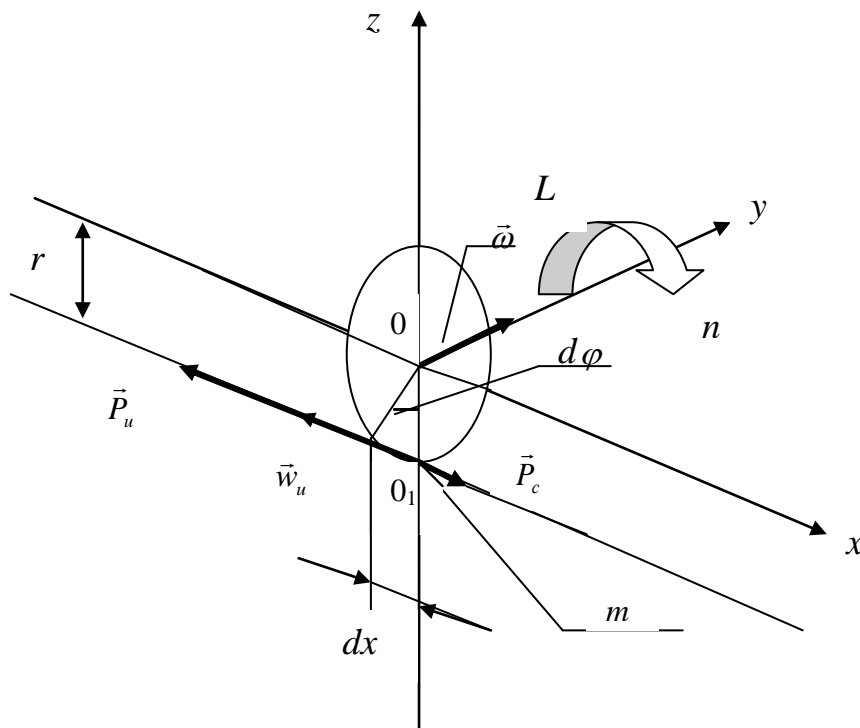


Рис.3.1. Модель вращательного движения

Здесь показаны следующие геометрические параметры:  $r$  – радиус тела вращения (например, колеса);  $d\varphi$  – элементарный угол поворота;  $dx$  – линейное перемещение точки  $O_1$  (на ободе колеса) при повороте колеса на элементарный угол  $d\varphi$ . Параметры движения:  $\vec{w}_u$  – линейная скорость движения колеса под действием окружного усилия (окружная сила)  $\vec{P}_u$ ;  $\vec{\omega}$  – угловая скорость;  $n$  – частота вращения колеса (число оборотов в единицу времени; например, число оборотов в минуту);  $\vec{P}_c$  – сила сопротивления движению колеса. Энергетический параметр –  $L$ , механическая работа, передаваемая от внешнего тела. При рассмотрении вращательного движения вся масса колеса  $m$  считается сосредоточенной в одной точке (точка  $O_1$  на схеме).

Основные соотношения для вращательного движения:



$$1) \quad \omega = \frac{d\varphi}{d\tau}, \quad \omega = 2\pi \cdot n \quad [\text{рад/с}]; \quad \text{если } n \text{ измеряется в об/мин., то}$$

$$\omega[\text{рад/с}] = \frac{2\pi}{60} n \approx 0,1n;$$

$$2) \quad w_u = \frac{dx}{d\tau} = \frac{r \cdot d\varphi}{d\tau} = r\omega;$$

$$3) \quad \frac{d\omega}{d\tau} = \varepsilon - \text{угловое ускорение, } 1/\text{с}^2;$$

$$4) \quad \text{согласно второму закону механики } m \frac{dw_u}{d\tau} = P_u - P_c \text{ или } m \frac{d(r\omega)}{d\tau} = P_u - P_c;$$

после умножения левой и правой частей на  $r$  получаем  $mr^2\varepsilon = P_u - P_c r$ ; величина  $mr^2 = J_y$  – момент инерции относительно оси  $y$ ;  $P_u \cdot r = M_u$  – момент окружной силы;  $P_c \cdot r = M_c$  – момент силы сопротивления; поэтому  $J_y \varepsilon = M_u - M_c$ ;

$$5) \quad L = L_u + L_c,$$

где  $L$  – работа, подводимая к вращающемуся объекту;

$L_u$  – полезная работа перемещения материальной точки под действием окружной силы  $\vec{P}_u$ ;

$L_c$  – работа преодоления сил сопротивления  $\vec{P}_c$ ;

$\eta_M = \frac{L_u}{L}$  – механический коэффициент полезного действия;

$\frac{dL}{d\tau} = N$  – изменение работы в единицу времени (мощность);

уравнения энергии:  $M_u \omega = \eta_M N$ ;  $M_c \omega = (1 - \eta_M) N$ , или

$$M_u = \eta_M \frac{N}{\omega}, M_c = (1 - \eta_M) \frac{N}{\omega}.$$

### 3.3.2. Расчет параметров вращательного движения

#### Задача № 1

Частота вращения колеса лопаточного типа вентилятора в салоне транспортного средства равна 300 об/мин. В момент времени  $t_0 = 0$  оно начинает двигаться равнозамедленно, с угловым ускорением  $-0,2 \text{ рад/с}^2$ . С какой частотой будет вращаться колесо через 1 мин?

Представим условие задачи в формализованном виде:  $n_0 = 300$  об/мин;  $\varepsilon = -0,2$  рад/с<sup>2</sup>;  $t = 1$  мин = 60 с; определить  $n$ .

*Решение.*

Для определения  $n$  воспользуемся формулами:  $n = \frac{\omega}{2\pi}$ ;  $\omega = \omega_0 + \varepsilon t = 2\pi n_0 + \varepsilon t$ .

Тогда  $\omega = 2\pi \frac{300}{60}$  [об/с] –  $0,2 \cdot 60 = 19,4$  [рад/с];

$n = \frac{19,4[\text{рад/с}]}{2\pi}$  [об/с] =  $\frac{19,4}{2\pi} 60$  [об/мин] = 185 об/мин.

### Задача № 2

К ободу однородного сплошного диска, являющегося деталью одного из агрегатов станции технического обслуживания, приложена касательная сила 100 Н. Радиус диска – 0,5 м. При вращении диска на него действует момент сил трения 2 Н.м. Определить массу диска, если известно, что его угловое ускорение постоянно и равно 12 рад/с<sup>2</sup>.

*Решение.*

Условие задачи в формализованном виде:  $r = 0,5$  м,  $P_u = 100$  Н,  $M_{mp} = 2$  Н.м,  $\varepsilon = 12$  рад/с<sup>2</sup>; определить  $m$ . Для решения задачи воспользуемся формулой

$J_y \frac{d\omega}{d\tau} = M_u - M_c$  или  $J_y \varepsilon = P_u r - M_{mp}$ . Известно, что для диска  $J_y = \frac{mr^2}{2}$ ; тогда

получим  $\frac{mr^2}{2} \varepsilon = P_u r - M_{mp}$ ; отсюда  $m = \frac{2(P_u - M_{mp})}{\varepsilon r^2} = \frac{2(100 \cdot 0,5 - 2)}{12 \cdot 0,5^2} = 32$  кг.

### Задача № 3

Скорость вращения колеса в редукторе погрузочного конвейера в течение 1 минуты уменьшилась с 300 об/мин до 180 об/мин. Вращение колеса при торможении равнозамедленное. Момент инерции колеса 2 кгм<sup>2</sup>. Определить:

1) угловое ускорение колеса; 2) момент силы торможения; 3) работу силы торможения.

*Решение.*

Условие задачи в формализованном виде:  $J_y = 2$  кгм<sup>2</sup>;

$t = 1$  мин;  $n_1 = 300$  об/мин;  $n_2 = 180$  об/мин; определить  $\varepsilon$ ,  $M_{\text{торм.}}$ ,  $L_{\text{торм.}}$ .

1. Определение углового ускорения колеса:  $\omega_2 = \omega_1 + \varepsilon t$ ;  $\omega = \frac{2\pi n}{60}$  рад/с;

$$\varepsilon = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t} = \frac{2\pi n_2 \frac{1}{60} - 2\pi n_1 \frac{1}{60}}{60} = \frac{2\pi}{60 \cdot 60} (n_2 - n_1) = \frac{2\pi(180 - 300)}{60 \cdot 60} = -0,209 \approx -0,21 \text{ рад/с}^2.$$

2. Определение момента силы торможения:  $J \frac{d\omega}{d\tau} = -M_{\text{торм.}}$ ;  $J\varepsilon = -M_{\text{торм.}}$ ;

$$M_{\text{торм.}} = -J\varepsilon = -2 \cdot (-0,21) = 0,42 \text{ Нм.}$$

3. Определение работы силы торможения. Работа силы торможения равна изменению кинетической энергии колеса при уменьшении его угловой скорости с 300 об/мин до 180 об/мин за время  $t = 1$  мин. Кинетическая энергия вращающегося тела равна сумме кинетических энергий всех точек тела

$$L = \sum_i \frac{m_i w_i^2}{2},$$

где  $w_i = \omega r_i$ ;  $m_i$  – масса  $i$ -й точки тела;  $r_i$  – расстояние (радиус) от  $i$ -й точки тела до оси (колеса);  $w_i$  – линейная скорость  $i$ -й точки.

Тогда

$$L = \sum_i \frac{m_i \omega^2 r_i^2}{2} = \frac{\omega^2}{2} \sum_i m_i r_i^2 = \frac{\omega^2}{2} J,$$

где  $J = \sum_i m_i r_i^2$  – момент инерции тела относительно оси.

Поэтому

$$\begin{aligned} L_{\text{торм.}} &= L_1 - L_2 = \frac{J_y \omega_1^2}{2} - \frac{J_y \omega_2^2}{2} = \frac{J_y}{2} (\omega_1^2 - \omega_2^2) = \frac{J_y}{2} \left[ \left( \frac{2\pi n_1}{60} \right)^2 - \left( \frac{2\pi n_2}{60} \right)^2 \right] = \frac{J_y}{2} \frac{4\pi^2}{60^2} (n_1^2 - n_2^2) = \\ &= 2J_y \frac{\pi^2}{60^2} (n_1 - n_2)(n_1 + n_2) = 2 \cdot 2 \cdot \frac{\pi^2}{60^2} (300 - 180)(300 + 180) = 64\pi^2 = 631 \text{ Дж.} \end{aligned}$$

### 3.4. Поступательное движение и его модель

*Поступательным движением* называется перемещение тела, при котором любая прямая, жестко связанная с движущимся телом, остается параллель-

ной своему первоначальному положению. За модель объекта при этом принимается материальная точка, в которой сконцентрирована вся масса объекта. Эта точка расположена в центре масс объекта. Положение центра масс определяется радиус-вектором, равным

$$r_c = \frac{\sum_{i=1}^k m_i r_i}{\sum_{i=1}^k m_i}.$$

Здесь  $m_i$  – масса  $i$ -го элемента объекта;  $r_i$  – его радиус-вектор; начало этого радиус-вектора совпадает с началом системы координат, а конец – с центром масс  $i$ -го элемента.

Для успешного осуществления поступательного движения транспортного средства важно располагать в нем груз в соответствии с центром масс  $C$  (см. рис.3.2).

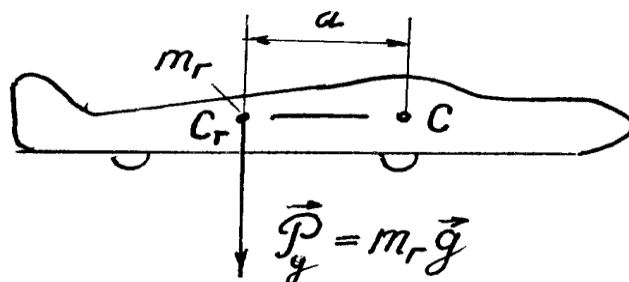


Рис. 3.2. К пояснению размещения центра масс груза на транспортном средстве

Неправильная загрузка может привести к затруднениям в перемещении транспортного средства: потере устойчивости; аварии. Несовпадение размещения центра масс груза  $C_r$  с центром масс транспортного средства с грузом  $C$  приводит к возникновению опрокидывающего момента силы тяжести

$$M = P_g a = m_r g a,$$

где  $a$  – расстояние между точками  $C$  и  $C_r$ ,  $m_r$  – масса груза,  $g$  – ускорение земного тяготения,  $P_g$  – сила тяжести.

Возникновение опрокидывающего момента приводит к затруднениям, например, при взлете самолета, при посадке, поскольку момент  $M$  препятствует обеспечению требуемого положения самолета относительно горизонтальной плоскости. При значительной величине  $M$  происходит аварийное падение самолета.

Следует отметить, что положение центра масс самолетов и вертолетов принято называть *центровкой*. Центровка самолета зависит от заправки топливом и загрузки. Она меняется даже в течение одного полета в связи с расходом топлива. Центровку определяют перед каждым рейсом самолета. Для этого используются специальные центровочные графики, позволяющие быстро найти центровку самолета в зависимости от количества заправленного топлива, численности пассажиров, массы багажа и груза.

### **3.5. Силы, действующие на транспортное средство**

При поступательном движении на объект в общем действуют четыре группы сил:

- полезные силы,
- гравитационные силы,
- силы сопротивления движению,
- гидроаэроподъемные силы.

#### **3.5.1. Полезные силы**

Полезными называются силы, которые обеспечивают движение транспортного средства (или просто объекта) по заданной траектории. В сервисных системах могут использоваться и транспортные средства (грузовые автомобили, автобусы, подъемно-транспортные средства и др.). В транспортных средствах полезные силы создаются в результате преобразования энергии, потребляемой от внешнего источника, в механическую работу. Это преобразование осуществляется в машинах, которые называют *двигателями*. Для непосредственного использования механической энергии с целью перемещения транс-

портного средства к двигателю присоединяется специальное устройство, называемое *движителем*. В качестве движителей в современных транспортных средствах используются колеса, винты (гребные и воздушные) и профильные каналы.

Полезная сила в транспортных средствах представляет собой реактивное тяговое усилие  $\vec{P}_R$ . Это можно показать на примере такого движителя как колесо.

От двигателя (рис.3.3) механическая энергия  $L_{Ц}$ , полученная в результате преобразования тепловой энергии, создает на валу крутящий момент  $\vec{M}_u$ . Благодаря этому, колесо, закрепленное на оси, получает окружное усилие  $\vec{P}_u$ . С этой силой колесо воздействует на поверхность дороги, а дорога отвечает реакцией  $\vec{P}_R$ , т.е.  $\vec{P}_u = -\vec{P}_R$ .

На рис.3.4 показана схема получения тягового усилия с помощью винта (гребного или воздушного). В этом случае механическая энергия  $L_{Ц}$ , подведенная от двигателя, преобразуется во вращательное движение профильных лопастей винта. Лопасти винта, действуя на среду с силой  $\vec{P}_B$ , отбрасывают со скоростью  $\vec{w}$  некоторую массу окружающей среды (воды или воздуха). С такой же реактивной силой среда действует на винт и жестко связанное с ним транспортное средство, приводя его в движение.

На рис.3.5 приведена схема получения тягового усилия с помощью движителя, выполненного в виде профильного канала.

Жидкое или газообразное рабочее тело поступает в канал, профиль которого делается таким, чтобы скорость потока росла. На примере изменения скорости течения воды в реке видно, что для увеличения скорости потока рабочего тела необходимо иметь сужающийся канал. Проталкивание рабочего тела через профильный канал осуществляется за счет приложения силы  $\vec{P}_u$ , являющейся результатом использования механической энергии, выработанной в двигателе. Согласно третьему закону механики этой активной силе, приложенной к рабочему телу, соответствует реактивная сила, равная по модулю активной силе и

противоположно направленная к ней, которая приложена к корпусу двигателя, жестко связанному с транспортным средством.

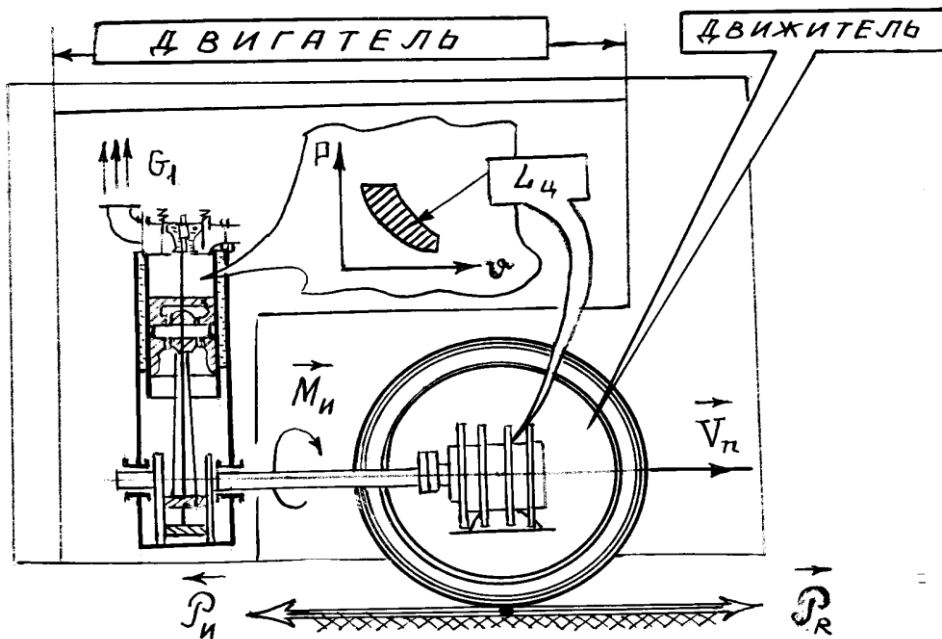


Рис. 3.3. Схема получения тяги с помощью колеса

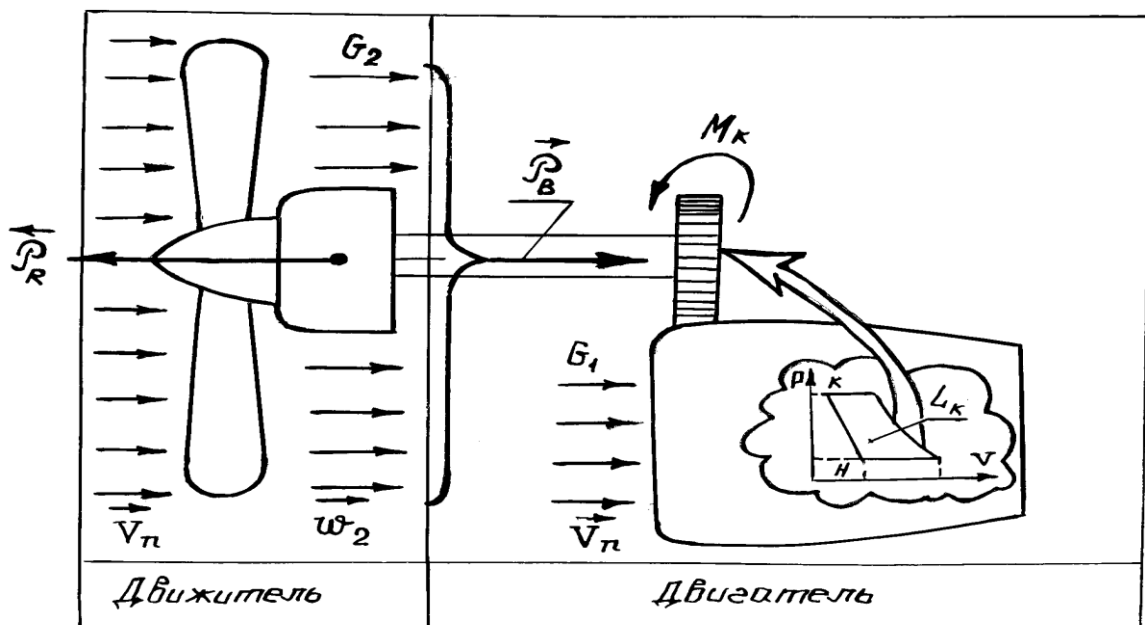


Рис. 3.4. Схема получения тяги с помощью винта

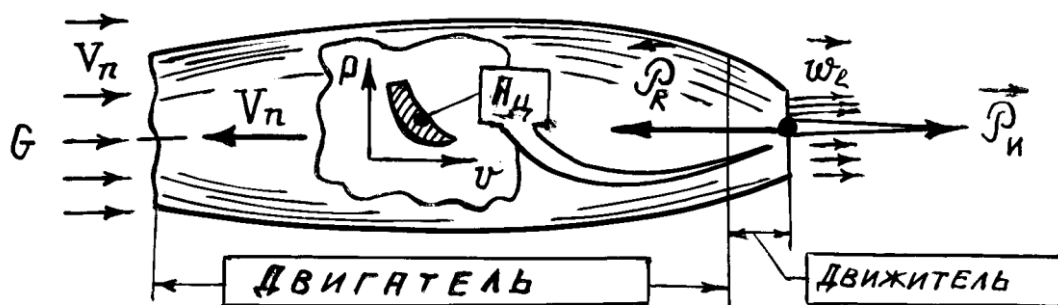


Рис. 3.5. Схема получения тягового усилия с помощью движителя, выполненного в виде профильного канала

### 3.5.2. Гравитационная сила

Гравитационной называется сила взаимодействия между любыми двумя материальными телами. Она прямо пропорциональна произведению масс этих тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними:

$$P_g = C_g \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

Здесь:  $m_1, m_2$  – массы взаимодействующих тел;  $r$  – расстояние между взаимодействующими телами;  $C_g$  – гравитационная постоянная, равная  $6,67 \cdot 10^{-11}$  Нм<sup>2</sup>/кг<sup>2</sup>.

Очень малая величина гравитационной постоянной обуславливает то, что гравитационная сила может быть значительной только в случае больших масс. Таким большим телом является Земля, а сила, действующая вблизи Земли, называется *силой тяжести*, выражаемой формулой

$$\vec{P}_g = m\vec{g}.$$

Здесь:  $m$  – масса тела, кг;  $\vec{g}$  – гравитационное ускорение земного тяготения, м/с<sup>2</sup>.



Сила тяжести проявляется при действии тела на опору (или подвес) и поэтому силу тяжести называют также *весом тела*.

### 3.5.3. Силы сопротивления движению

Силы сопротивления движению подразделяются на силы трения и силы сопротивления среды перемещению тела. Различают два вида трения: трение скольжения и трение качения.

*Сила трения скольжения* представляет собой силу, препятствующую скольжению соприкасающихся тел. Это трение обусловлено шероховатостью поверхностей, а в случае очень гладких поверхностей трение обусловлено силами межмолекулярного притяжения.

Для определения силы трения рассмотрим тело, лежащее на поверхности, к которому приложена горизонтальная сила (рис.3.6).

Как видно, за счет сцепления выступов возникает множество распределенных сил, препятствующих перемещению тела, равнодействующая которых есть сила трения, вызванная шероховатостью поверхности.

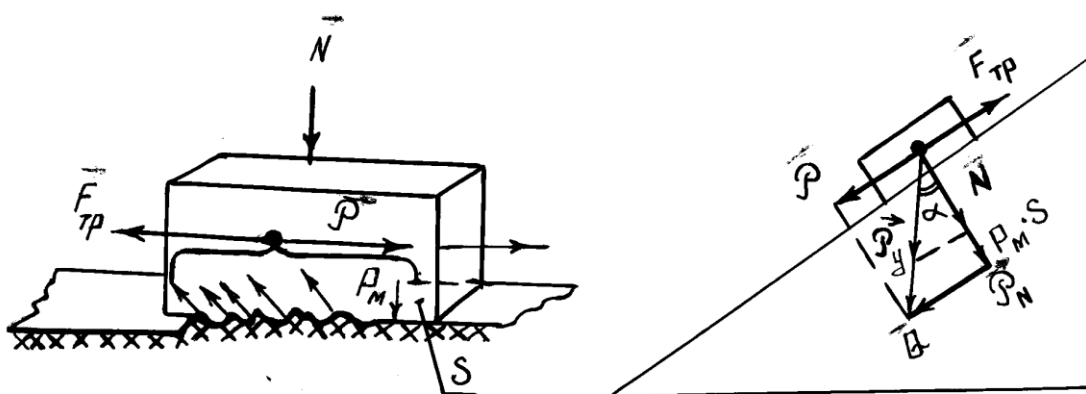


Рис. 3.6. Схема, поясняющая трение скольжения

На гладкой поверхности  $S$  возникает межмолекулярное давление. В соответствии с этим суммарная сила, прижимающая тело к поверхности,

$$P_N = N + p_M S,$$

где  $N$  – нормальная сила, действующая на тело и прижимающая его к поверхности;

$p_M$  – межмолекулярное давление;

$S$  – площадь соприкосновения тела с поверхностью.

Отношение силы трения к суммарной нормальной силе называется коэффициентом трения

$$f = \frac{F_{mp}}{P_N}.$$

Для определения коэффициента трения рассматривают положение тела на наклонной поверхности. Тело начинает двигаться лишь тогда, когда приложенная сила (в случае наклонной поверхности – сила тяжести) будет больше силы трения. В предельном случае условие начала скольжения

$$F_{mp} = P.$$

Учитывая, что  $F_{mp} = fP_N$ , запишем:

$$fP_N = P. \quad (*)$$

Из схемы имеем:

$$P_N = Q \cos \alpha; \quad P = Q \sin \alpha.$$

Подставим эти соотношения в выражение (\*):

$$fQ \cos \alpha = Q \sin \alpha.$$

Отсюда

$$f = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha.$$

Таким образом,  $f = \operatorname{tg} \alpha$ , где  $\alpha$  – угол наклона поверхности относительно горизонтальной плоскости. Это означает, что коэффициент трения скольжения равен тангенсу угла  $\alpha$ , при котором начинается скольжение тела по наклонной плоскости. Коэффициент трения зависит от состояния и свойств поверхности и определяется экспериментально.

Для некоторых пар трения коэффициент трения скольжения равен:

сталь по стали – 0,15,  
дерево по дереву – 0,45,  
резина по бетону – 0,70.

Для уменьшения коэффициента трения на соприкасающиеся поверхности наносят жидкую смазку. Коэффициент трения при этом уменьшается примерно в 10 раз.

При известном коэффициенте трения сила трения равна

$$F_{mp} = f(N + p_M S).$$

В случае весьма малых значений  $p_M$

$$F_{mp} = fN.$$

Существенно уменьшить силу сопротивления трением можно, заменяя трение скольжения *трением качения* (например, путем применения подшипников качения).

На рис.3.7 показана схема, поясняющая трение качения. Тело (шарик в подшипнике, колесо, диск и др.) перемещается по поверхности путем качения (перекатывания), а не скольжения по ней.

Абсолютно твердых тел нет, поэтому при соприкосновении тела качения с горизонтальной поверхностью ввиду деформации оно «проседает» (или углубляется в поверхность). Пусть радиус тела качения –  $r_k$ . В общем случае на тело действуют силы:

$\vec{P}$ – сила, перемещающая тело и направленная параллельно горизонтальной поверхности;

$\vec{N}$ – нормальная сила, прижимающая тело к поверхности;

$\vec{R}$ – сила реакции на действующую силу  $\vec{N}$ .

Ввиду деформации поверхности и действия сил  $\vec{N}$  и  $\vec{P}$ , а также наличия трения точка приложения силы  $\vec{R}$  смещается относительно вертикальной оси на величину  $k$ . Поэтому  $\vec{R}$  можно разложить на нормальную составляющую  $\vec{R}_n$  и горизонтальную (касательную), препятствующую перемещению тела, т.е. силу

трения  $F_{mp}$ . Для нахождения силы трения составим условия равновесия в проекциях на оси  $x$  и  $y$ , а также уравнения моментов относительно центра  $O$ .

В проекциях на ось  $x$ :  $P - F_{mp} = 0$ , на ось  $y$ :  $R_n - N = 0$ . Уравнение моментов:  $R_n k - F_{mp} r_k = 0$ .

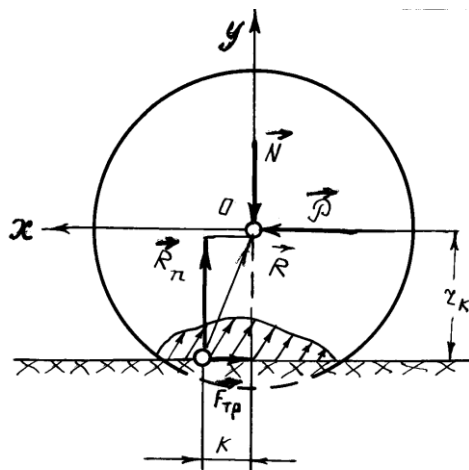


Рис. 3.7. Схема, поясняющая трение качения

Из предыдущего имеем:  $R_n = N$ , поэтому  $Nk - F_{mp} r_k = 0$  и  $Nk = F_{mp} r_k$ .

Отсюда

$$F_{mp} = \frac{k}{r_k} N.$$

Выводы:

- 1)  $F_{mp}$  качения зависит от смещения  $k$ , от радиуса тела качения  $r_k$  и от нормальной силы  $N$ ;
- 2)  $F_{mp}$  уменьшается с увеличением радиуса  $r_k$ .

Таким образом, можно уменьшать силу трения качения путем увеличения радиуса тела. Величина  $k/r_k = \chi$  может быть названа коэффициентом трения качения.

Рассмотрим примеры решения задач, связанных с определением или учетом сил трения.

### 3.5.4. Расчет сил трения при поступательном движении

транспортных средств

#### Задача № 1

Железнодорожный двухосный вагон массой 10 тонн скатывается с сортировочной горки и, двигаясь равноускоренно с ускорением  $0,5 \text{ м/с}^2$ , достигает горизонтального участка пути через 12 секунд. Другой такой же вагон, но прошедший техническое обслуживание с заменой смазки в подшипниках скольжения, скатывается с этой же горки за 10 секунд.

Определить, как изменилась сила трения в подшипниках скольжения в результате технического обслуживания.

*Решение.*

Представим условие задачи в формализованном виде:  $m = 10 \text{ т} = 10 \cdot 10^3 = 10^4 \text{ кг}$ ;  $a_1 = 0,5 \text{ м/с}^2$ ;  $t_1 = 12 \text{ с}$ ;  $t_2 = 10 \text{ с}$ . Требуется определить  $\Delta F_{\text{тр.подш.}}$ .

1. В соответствии со вторым законом механики

$ma = \Delta P = P - F_{\text{тр}}$  и  $ma_1 = P - F_{\text{тр.1}}$ ,  $ma_2 = P - F_{\text{тр.2}}$  для первого и второго вагонов соответственно. Отсюда  $F_{\text{тр.1}} = P - ma_1$ ,  $F_{\text{тр.2}} = P - ma_2$ . Уменьшение суммарной силы трения всех подшипников скольжения вагона составит

$\Delta F_{\text{тр.}} = F_{\text{тр.1}} - F_{\text{тр.2}} = P - ma_1 - (P - ma_2) = ma_2 - ma_1 = m(a_2 - a_1)$ . Уменьшение силы трения в одном подшипнике составит

$$\Delta F_{\text{тр.подш.}} = \frac{\Delta F_{\text{тр.}}}{n_{\text{к}}},$$

где  $n_{\text{к}}$  – число колес в вагоне (для двухосного вагона  $n_{\text{к}} = 4$ ).

С учетом выражения для  $\Delta F_{\text{тр.}}$  имеем

$$\Delta F_{\text{тр.подш.}} = \frac{m}{n_{\text{к}}}(a_2 - a_1).$$

2. Определим теперь величину  $a_2$ . Для этого воспользуемся общим выражением для линейной скорости равноускоренного движения

$$w = w_0 + at,$$

где  $w_0$  – начальная скорость; в нашей задаче  $w_0 = 0$ , и  $w = at$ .

Определим длину сортировочной горки  $l$ , используя соотношение

$\frac{dl}{dt} = w$  или  $\frac{dl}{dt} = w_0 + at$  и  $dl = w_0 dt + at dt$ . Интегрируя последнее выражение,

получим

$$l = \int_0^l dl = w_0 \int_0^t dt + a \int_0^t t dt = w_0 t + a \frac{t^2}{2}.$$

Выражая  $l$  через  $a_1, t_1$  и  $a_2, t_2$ , имеем:

$$l = w_0 t_1 + \frac{a_1 t_1^2}{2}, l = w_0 t_2 + \frac{a_2 t_2^2}{2}, \text{ а для случая } w_0 = 0 \text{ получим}$$

$$l = \frac{a_1 t_1^2}{2} \text{ и } l = \frac{a_2 t_2^2}{2}. \text{ Отсюда } a_1 t_1^2 = a_2 t_2^2 \text{ и } a_2 = a_1 \frac{t_1^2}{t_2^2} = a_1 \left( \frac{t_1}{t_2} \right)^2.$$

3. Подставляя это выражение в последнюю формулу для  $\Delta F_{\text{тр.поди.}}$ , имеем:

$$\Delta F_{\text{тр.поди.}} = \frac{m}{n_k} \left[ a_1 \left( \frac{t_1}{t_2} \right)^2 - a_1 \right] = \frac{m}{n_k} a_1 \left[ \left( \frac{t_1}{t_2} \right)^2 - 1 \right].$$

$$4. \text{ Вычислим } \Delta F_{\text{тр.поди.}} = \frac{10^4}{4} 0,5 \left[ \left( \frac{12}{10} \right)^2 - 1 \right] = 10^4 0,5 \frac{1}{4} (1,44 - 1) = 550 \text{ Н.}$$

#### Задача № 2

Какова сила трения при движении колеса четырехосной платформы массой 16 тонн, если смещение  $k = 0,01$  м, а радиус колеса – 0,5 м?

*Решение.*

Представим условие задачи в формализованном виде:  $m = 16 \text{ т} = 16 \cdot 10^3$  кг;  $k = 0,01$  м;  $r_k = 0,5$ ;  $n_k = 8$ . Требуется определить  $F_{\text{тр.}}$

Воспользуемся формулой для определения силы трения качения

$$F_{\text{тр.}} = \frac{k}{r_k} N.$$

В соответствии с условием задачи здесь  $N$  – нормальная сила, определяемая силой тяжести платформы, приходящаяся на одно колесо. Поэтому

$$N = \frac{mg}{n_k}.$$

Отметим, что у четырехосной платформы количество колес  $n_k = 8$ .

Окончательно получим

$$F_{\text{тр.}} = \frac{k}{r_k} \frac{mg}{n_k}$$

$$\text{и } F_{\text{тр.}} = \frac{0,01 \cdot 16 \cdot 10^3 \cdot 9,81}{0,5 \cdot 8} = 392,4 \text{ Н.}$$

### Задача № 3

Как надо изменить радиус колеса, чтобы трение качения при его движении уменьшилось на 20%? (Масса колеса неизменна).

*Решение.*

Представим условие задачи в формализованном виде: радиус колеса  $r_{\kappa 1}$ ; относительное уменьшение силы трения  $\frac{\Delta F_{mp}}{F_{mp.1}} = 20\%$ ;  $\Delta F_{mp} = F_{mp.1} - F_{mp.2}$ ; здесь  $F_{mp.1}$  соответствует колесу с радиусом  $r_{\kappa 1}$ , а  $F_{mp.2}$  – колесу с измененным радиусом, т.е. с  $r_{\kappa 2}$ ; определить  $r_{\kappa 2}$ .

Согласно формуле для силы трения качения можем записать:

$$F_{mp.1} = \frac{k}{r_{\kappa 1}} N; F_{mp.2} = \frac{k}{r_{\kappa 2}} N. \text{ Тогда } \Delta F_{mp} = \frac{k}{r_{\kappa 1}} N - \frac{k}{r_{\kappa 2}} N = kN \left( \frac{1}{r_{\kappa 1}} - \frac{1}{r_{\kappa 2}} \right). \text{ Теперь можем}$$

получить выражение для  $\frac{\Delta F_{mp}}{F_{mp.1}}$ :

$$\frac{\Delta F_{mp}}{F_{mp.1}} = \frac{kN \left( \frac{1}{r_{\kappa 1}} - \frac{1}{r_{\kappa 2}} \right)}{kN \frac{1}{r_{\kappa 1}}} = 1 - \frac{r_{\kappa 1}}{r_{\kappa 2}}; \text{ отсюда } \frac{r_{\kappa 1}}{r_{\kappa 2}} = 1 - \frac{\Delta F_{mp}}{F_{mp.1}} \text{ и } r_{\kappa 2} = \frac{r_{\kappa 1}}{1 - \frac{\Delta F_{mp}}{F_{mp.1}}}.$$

Так как  $\frac{\Delta F_{mp}}{F_{mp.1}} = 20\% = 0,2$ , то  $r_{\kappa 2} = \frac{r_{\kappa 1}}{1 - 0,2} = \frac{r_{\kappa 1}}{0,8} = 1,25 r_{\kappa 1}$ , т.е. необходимо радиус колеса увеличить в 1,25 раза.

#### 3.5.5. Расчет сил сопротивления среды

*Сила сопротивления среды* зависит от вида среды, в которой перемещается транспортное средство. В общем случае транспортные средства перемещаются в двух средах: водной и воздушной.

Сопротивление перемещению транспортного средства в водной среде называется *гидродинамическим сопротивлением*. Гидродинамическое сопротивление вызвано касательными силами, обусловленными возникновением сил трения скольжения; силами, обусловленными давлением водной среды, зависящими от вязкостных свойств среды (сопротивление формы); силами, завися-

щими от волновых факторов. Эксперименты показали, что сила сопротивления движению судна определяется формулой

$$F_c = C_w \frac{\rho w^2}{2} S,$$

где  $C_w$  – коэффициент гидродинамического сопротивления;

$\rho$  – плотность воды;

$w$  – скорость движения судна;

$S$  – площадь смоченной поверхности судна.

Сопротивление перемещению транспортного средства в воздушной среде называется *аэродинамическим сопротивлением*. Сила аэродинамического сопротивления зависит от свойств среды, форм элементов конструкции транспортного средства и скорости его перемещения. Так же, как и при движении в воде, сопротивление движению в воздухе складывается из сопротивления трению и сопротивления давлению, которое, в свою очередь, может проявляться как сопротивление формы и как волновое сопротивление.

Сопротивление *трению* связано с вязкостью воздуха, благодаря которой около поверхности движущегося тела создается пограничный слой, где происходит изменение скорости обтекаемого потока от нуля до максимального значения (рис. 3.8).

В пограничном слое можно выделить две зоны, соответствующие двум режимам течения: *ламинарному*, при котором отдельные слои (струйки) воздуха двигаются параллельно обтекаемой поверхности; *турбулентному*, при котором имеет место неупорядоченное движение отдельными вихрями с их непрерывным перемешиванием и перемещением не только вдоль потока, но и поперек.

В турбулентной области поверхности имеется тонкий ламинарный под-слой, в котором и происходит изменение профиля скорости потока. В результате этого в турбулентном потоке имеет место большой градиент скорости и соответственно и сила трения при турбулентном обтекании в несколько раз



больше, чем при ламинарном. Длина турбулентного участка на поверхности тела увеличивается с ростом скорости движения.

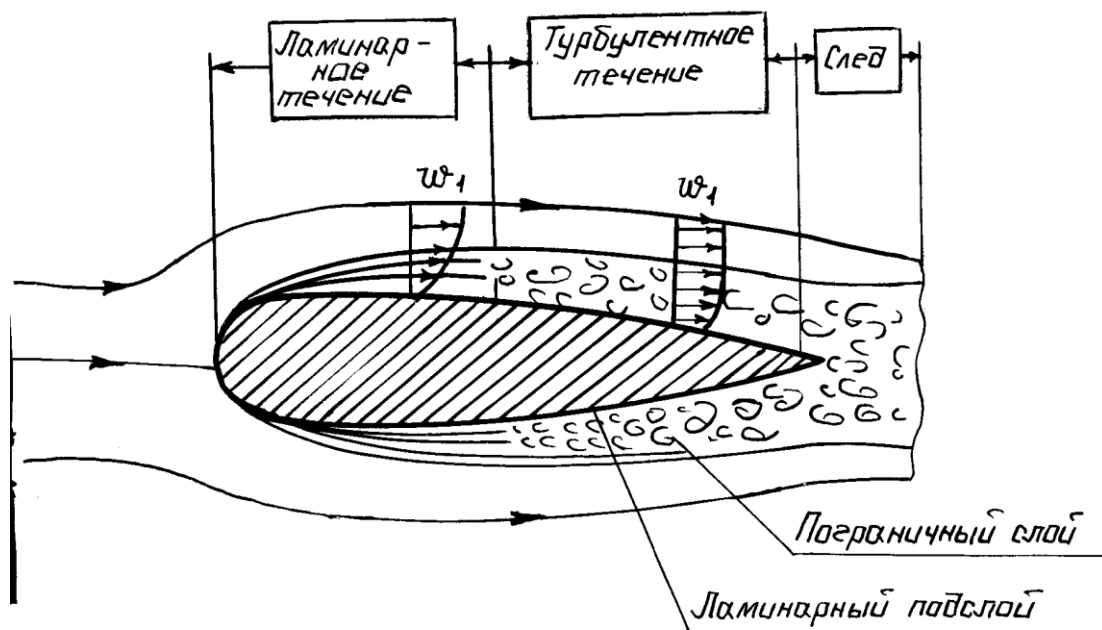


Рис. 3.8. Схема обтекания тела потоком

Сопротивление *давлению* возникает вследствие того, что среднее давление спереди тела превышает среднее давление позади него. Сопротивление давления равно разности этих средних давлений, умноженной на площадь так называемого миделевого сечения. Миделево сечение — сечение тела плоскостью, перпендикулярной направлению движения, взятое в том месте тела, где площадь сечения наибольшая.

В соответствии с теорией Н.Е. Жуковского полное аэродинамическое сопротивление равно

$$F_{aэp} = c_x \frac{\rho w^2}{2} S_m.$$

Здесь:  $c_x$  — аэродинамический коэффициент лобового сопротивления;  $\rho$  — плотность воздуха;  $w$  — скорость движения воздушного судна;  $S_m$  — площадь миделевого сечения.

Рассмотрим примеры расчета сил сопротивления среды.

### Задача № 1

Модернизированный вариант танкера характеризуется повышением максимальной массы перевозимого груза на 20%. Площадь смачиваемой поверхности танкера увеличилась на 15%, а скорость уменьшилась на 10%. Как изменилась сила гидродинамического сопротивления? (Коэффициент  $C_w$  практически не изменился, его можно принять постоянным для данного класса судов.)

*Решение.*

Введем обозначения:  $m_1$  – масса танкера с грузом до его модернизации;  $m_2$  – масса танкера с грузом после модернизации;  $S_1, S_2$  – площадь смачиваемой поверхности танкера до и после модернизации соответственно;  $w_1, w_2$  – скорость танкера до и после модернизации соответственно;  $F_{c1}, F_{c2}$  – сила гидродинамического сопротивления танкера до и после модернизации соответственно. Требуется определить  $F_{c2}/F_{c1}$  или  $\frac{|F_{c2} - F_{c1}|}{F_{c1}}$ .

В соответствии с условием задачи можем записать:  $m_2 = m_1 + 0,2m_1 = 1,2m_1$ ;  $S_2 = S_1 + 0,15S_1 = 1,15S_1$ ;  $w_2 = w_1 - 0,1w_1 = 0,9w_1$ . На основании формулы  $F_c = C_w \frac{\rho w^2}{2} S$  получим  $\frac{F_{c2}}{F_{c1}} = \frac{C_w \rho w_2^2 S_2}{2 C_w \rho w_1^2 S_1} = \frac{w_2^2 S_2}{w_1^2 S_1}$ . После подстановки в эту формулу

значений  $w_2$  и  $S_2$ , выраженных через  $w_1$  и  $S_1$ , получим

$\frac{F_{c2}}{F_{c1}} = \frac{(0,9w_1)^2 1,15S_1}{w_1^2 S_1} = 0,9315$ . Отсюда  $F_{c2} = 0,9315F_{c1}$ ;  $F_{c2} < F_{c1}$ . Следовательно, сила

гидродинамического сопротивления уменьшилась на

$$\frac{|F_{c2} - F_{c1}|}{F_{c1}} = \frac{|0,9315F_{c1} - F_{c1}|}{F_{c1}} = |0,9315 - 1| = 0,0685 = 6,85\% \approx 7\%.$$

### Задача № 2

Скорость полета самолета на высоте 500 м составляет 720 км/ч. Определить силу сопротивления крылу самолета, если площадь миделевого сечения

крыла  $1,7 \text{ м}^2$ , коэффициент лобового сопротивления  $0,04$ , плотность воздуха на высоте  $500 \text{ м}$  составляет  $1,167 \text{ кг/м}^3$ .

*Решение.*

Представим условие задачи в формализованном виде:

$$w = 720 \text{ км/ч} = 720 \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{3600} = 200 \text{ м/с}; \quad S_m = 1,7 \text{ м}^2; \quad c_x = 0,04; \quad \rho = 1,167 \text{ кг/м}^3.$$

Определить  $F_{\text{аэр}}$ .

В формулу  $F_{\text{аэр}} = c_x \frac{\rho w^2}{2} S_m$  подставим соответствующие численные значения:  $F_{\text{аэр}} = 0,04 \cdot \frac{1,167 \cdot 200^2}{2} \cdot 1,7 = 1587 \text{ Н}$ .

### Задача № 3

Как следует изменить площадь миделевого сечения крыла (в условиях задачи №2), чтобы, не увеличивая тягу двигателя, увеличить скорость до  $750 \text{ км/ч}$ ?

*Решение.*

Представим условие задачи в формализованном виде:

$c_x = 0,04$ ;  $S_{m1} = 1,7 \text{ м}^2$ ;  $\rho = 1,167 \text{ кг/м}^3$ ;  $w = 750 \text{ км/ч}$ ;  $F_{\text{аэр}} = 1587 \text{ Н}$ . Определить  $S_m$  и  $\Delta S_m = S_{m1} - S_m$ .

Из формулы для  $F_{\text{аэр}}$  находим  $S_m = \frac{2F_{\text{аэр}}}{c_x \rho w^2}$ . Подставим в эту формулу чис-

ленные значения:  $S_m = \frac{2 \cdot 1587}{0,04 \cdot 1,167 \cdot (750 \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{3600})^2} = 1,567 \text{ м}^2$ . Тогда

$$\Delta S_m = 1,7 - 1,567 = 0,133 \text{ м}^2.$$

### 3.5.6. Гидроаэроподъемные силы

*Гидроаэроподъемные силы* обусловлены выталкиванием тела, помещенного в среду, и подъемными силами, возникающими при движении тела.

Гидроподъемная сила, действующая на тело, погруженное в жидкость, определяется законом Архимеда:

$$P_a = g\rho V_{жс}.$$

Здесь:  $P_a$  – сила, выталкивающая тело из воды;  $g$  – ускорение земного тяготения;  $\rho$  – плотность воды;  $V_{жс}$  – объем части тела, погруженной в воду.

Закон Архимеда справедлив и для воздуха: на тело, находящееся в воздухе, действует выталкивающая сила, равная весу воздуха в объеме тела. Архимедова сила в воздухе используется для создания воздушных шаров, аэростатов и дирижаблей (при наполнении их газом, плотность которого меньше плотности воздуха).

Гидроаэродинамические силы, возникающие при движении транспортного средства (рис.3.9), прямо пропорциональны плотности среды, квадрату скорости движения тела и площади сечения тела (по оси  $x$  – при определении силы сопротивления движению, по оси  $y$  – при определении подъемной силы), в соответствии с формулами Н.Е. Жуковского.

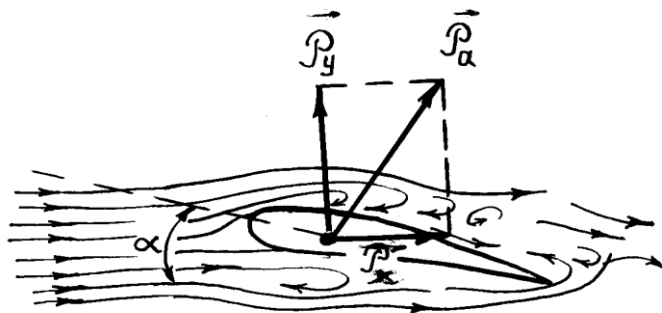


Рис. 3.9. Схема обтекания тела в среде

Гидроаэродинамическая сила обусловлена вязкостью среды (жидкости или воздуха), вследствие чего в области, прилегающей к поверхности тела, образуется пограничный слой частиц, движущихся с меньшими скоростями. В результате тормозящего действия этого слоя движение жидкости становится турбулентным. Турбулентные вихри вращаются в противоположные стороны, об-

разуя на внешней поверхности (спинке) пониженное давление, а на внутренней поверхности («корытце») повышенное давление. Разность этих давлений и создает гидродинамическую силу. Аэродинамическая сила согласно обобщенному закону Н.Е. Жуковского пропорциональна скоростному напору и площади:

$$P_{aэp} = c_a \frac{\rho w^2}{2} S.$$

Разлагая эту силу на вертикальную и горизонтальную составляющие и учитывая, что угол атаки  $\alpha > 0$ , получим ранее известную нам силу лобового сопротивления

$$P_x = c_x \frac{\rho w^2}{2} S_x$$

и подъемную силу

$$P_y = c_y \frac{\rho w^2}{2} S_y.$$

Коэффициент  $c_x$  называется аэродинамическим коэффициентом лобового сопротивления, а  $c_y$  – аэродинамическим коэффициентом подъемной силы. Аэродинамические коэффициенты  $c_x$  и  $c_y$  определяются экспериментально;  $S_x$ ,  $S_y$  – площади сечений по осям  $x$  и  $y$  соответственно.

### 3.5.7. Расчет параметров транспортных средств с учетом гидроаэроподъемных сил

#### Задача № 1

Речная баржа, масса которой 100 тонн, имеет форму, близкую к параллелепипеду, с размерами  $30 \times 10 \times 5 \text{ м}^3$ . Определить, какой массой груза можно загрузить баржу, чтобы верхняя кромка борта находилась над поверхностью воды на уровне не менее 1 м.

*Решение.*

Представим условие задачи в формализованном виде:  $m_b = 100 \text{ т} = 10^5 \text{ кг}$ ;  $l = 30 \text{ м}$ ,  $b = 10 \text{ м}$ ,  $h = 5 \text{ м}$ ;  $h_в = 1 \text{ м}$ ;  $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$ . Определить  $m_{зр.}$ .

Объем части баржи, погруженной в воду, должен быть не более чем  $V_{жс} = lb(h - h_в)$ . Суммарная сила тяжести равна  $P = P_b + P_{зр.} = m_b g + m_{зр.} g$  или  $P = (m_b + m_{зр.}) g$ . Сила тяжести должна быть уравновешена выталкивающей си-

лой, т.е. архимедовой силой  $P_a = \rho V_{жс} g$ . Тогда имеем:  $P = P_a$  и  $(m_0 + m_{сп.})g = \rho V_{жс} g$ . Отсюда  $m_{сп.} = \rho V_{жс} - m_0 = \rho \cdot l \cdot b \cdot (h - h_0) - m_0 = 10^3 \cdot 30 \cdot 10 \cdot (5 - 1) - 10^5 = 11 \cdot 10^5 \text{ кг} = 1100 \text{ т}$ .

### Задача № 2

Можно ли дополнительно погрузить на баржу массу груза в 500 т, чтобы ее осадка не превышала ватерлинии, установленной на высоте 1,2 м от кромки борта? Расстояние от поверхности воды до кромки борта перед погрузкой составляет 2 м. Баржу можно приближенно рассматривать как параллелепипед с размерами  $35 \times 12 \times 6 \text{ м}^3$ .

*Решение.*

Представим условие задачи в формализованном виде:

$m_{дон.} = 500 \text{ т} = 5 \cdot 10^3 \text{ кг}$ ;  $h_{ват.} = 1,2 \text{ м}$ ;  $h_0 = 2 \text{ м}$ ;  $l = 35 \text{ м}$ ,  $b = 12 \text{ м}$ ,  $h = 6 \text{ м}$ . Необходимо определить  $h_{01}$  и сравнить это значение с  $h_{ват.}$ .

Архимедовы силы перед погрузкой и после погрузки дополнительного груза соответственно равны:  $P_a = \rho V_{жс} g$  и  $P_{a1} = \rho V_{жс1} g$ , где  $V_{жс} = lb(h - h_0)$  и  $V_{жс1} = lb(h - h_{01})$ . Разность этих архимедовых сил  $\Delta P_a = P_{a1} - P_a = \rho g (V_{жс1} - V_{жс})$ . Так как

$\Delta P_a = m_{дон.} g$ , то  $m_{дон.} = \frac{\Delta P_a}{g} = \frac{\rho g (V_{жс1} - V_{жс})}{g} = \rho (V_{жс1} - V_{жс})$ . После подстановки в эту

формулу соотношений для  $V_{жс1}$  и  $V_{жс}$  получим  $m_{дон.} = \rho lb (h_0 - h_{01})$ . Отсюда нахо-

дим  $h_{01} = -\frac{m_{дон.}}{\rho lb} + h_0 = -\frac{5 \cdot 10^3}{10^3 \cdot 35 \cdot 12} + 2 = 0,81 \text{ м}$ . Таким образом,  $h_{01} < 1,2 \text{ м}$ ,

т.е.  $h_{01} < h_{ват.}$ ; это означает, что дополнительно погрузить 500 т нельзя.

### Задача № 3

Аэродинамическая сила, действующая на крыло самолета, равна  $3,5 \cdot 10^5 \text{ Н}$ . Угол атаки составляет  $5^\circ$ . Определить силу лобового сопротивления и аэроподъемную силу.

*Решение.* Представим условие задачи в формализованном виде:  $P_{аэп.} = 3,5 \cdot 10^5$ ;  $\alpha = 5^\circ$ . Определить  $P_x$ ,  $P_y$ .

Для решения задачи используем схему, иллюстрирующую возникновение аэродинамических сил (рис. 3.10).

На основании данной схемы имеем

$P_x = P_{\text{аэр.}} \cos(90^\circ - \alpha) = P_{\text{аэр.}} \sin \alpha; P_y = P_{\text{аэр.}} \cos \alpha$ . После подстановки численных значений получаем:

$$P_x = 3,5 \cdot 10^5 \cdot \sin 5^\circ = 3,5 \cdot 10^5 \cdot 8,7158744 \cdot 10^{-2} = 30,50556 \cdot 10^3 \approx 30506 \text{ Н};$$

$$P_y = 3,5 \cdot 10^5 \cdot \cos 5^\circ = 3,5 \cdot 10^5 \cdot 0,99619 = 3,486665 \cdot 10^5 \approx 349000 \text{ Н}.$$

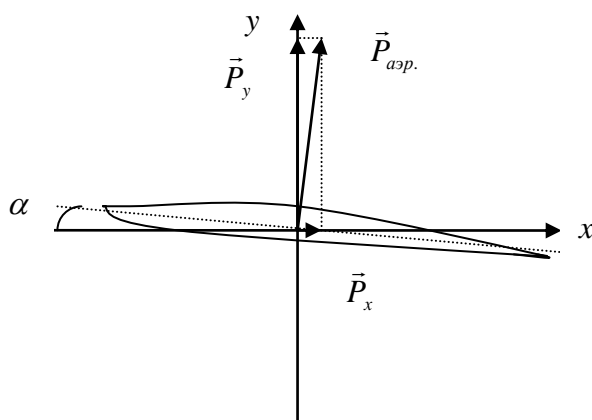


Рис. 3.10. Схема, поясняющая возникновение аэродинамических сил

#### Задача №4

Коэффициент лобового сопротивления крыла нового самолета 0,019. При скорости самолета 648 км/ч (на высоте 6000 м) сила лобового сопротивления крыла равна  $3 \cdot 10^4$  Н. В процессе эксплуатации и после ремонтов обшивки коэффициент сопротивления увеличился до 0,021. Какова аэроподъемная сила при той же скорости самолета и угле атаки  $5^\circ$ ?

*Решение.*

Формализуем условие задачи:

$c_x = 0,019; w = 648 \text{ км/ч}; P_x = 3 \cdot 10^4 \text{ Н}; c_{x1} = 0,021; \alpha = 5^\circ$ . Определить  $P_{y1}$ .

С учетом схемы, представленной на рис.3.10, можем записать:

$P_{y1} = P_{\text{аэп.}} \cos \alpha; P_{x1} = P_{\text{аэп.}} \sin \alpha; P_{\text{аэп.}} = \frac{P_{x1}}{\sin \alpha}$ . А в соответствии с формулами Н.Е. Жу-

ковского имеем:  $P_{x1} = c_{x1} \frac{\rho w^2}{2} S_m; P_x = c_x \frac{\rho w^2}{2} S_m$ . Отсюда  $\frac{P_{x1}}{P_x} = \frac{c_{x1}}{c_x}$  и  $P_{x1} = \frac{c_{x1}}{c_x} P_x$ . Это

выражение подставляем в формулу для  $P_{\text{аэп.}}$ :  $P_{\text{аэп.}} = \frac{c_{x1}}{c_x} \cdot \frac{P_x}{\sin \alpha}$ . Пользуясь этим

выражением, находим искомое соотношение

$$P_{y1} = \frac{c_{x1}}{c_x} \cdot \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} P_x.$$

После подстановки в него численных значений находим

$$P_{y1} = \frac{0,021}{0,019} \cdot \frac{\cos 5^\circ}{\sin 5^\circ} 3 \cdot 10^4 = \frac{0,021}{0,019} \cdot \frac{0,99619}{8,7158744 \cdot 10^{-2}} \approx 3,79 \cdot 10^5 \text{ Н}.$$

### 3.6. Основы термодинамики

Одним из основных функциональных элементов систем сервиса на транспорте является энергетическая установка. Транспортные энергетические установки в системах сервиса выполняют две основные функции: 1) преобразование теплоты в механическую энергию; 2) преобразование механической энергии в теплоту или уменьшение теплоты (получение холода). Все эти процессы основаны на использовании законов термодинамики.

Термодинамика – наука о соотношении между теплотой и работой, о свойствах рассматриваемого объекта и параметрах состояния.

Теплота – форма энергии, проявляющаяся в интенсивности теплового движения молекул и атомов вещества. Количество теплоты –  $Q$  (Дж), удельная теплота –  $q = Q/m$  (Дж/кг), где  $m$  – масса вещества.

В термодинамике для рассматриваемых веществ используется обобщенное понятие – рабочее тело. Рабочее тело может представляться индивидуаль-



ным веществом (например,  $H_2O$  – вода) или смесью (например, воздух –  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ , Ar, Ne). Рабочие тела обладают определенными свойствами.

Характеристики свойств рабочего тела – величины, каждая из которых количественно отображает способность воспринимать те или иные воздействия.

К таким характеристикам относятся:

- удельная теплоемкость – количество теплоты, которое при неизменном объеме воспринимает один килограмм вещества при нагревании на один градус.

Обозначается –  $c_v$ , измеряется в Дж / кг К;

- газовая постоянная – величина работы, совершаемой одним килограммом рабочего тела при изменении температуры на один градус. Обозначается –  $R$ , измеряется в Дж/кгК ;  $R = \frac{8314}{\mu}$ , где  $\mu$  – молярная масса газа;

- единичная энтальпия рабочего тела – мера способности рабочего тела воспринимать теплоту и расширяться. Обозначается –  $i_p$ ;  $i_p = c_v + R$ ;

- динамический коэффициент вязкости  $\eta$  ( $m^{-1}kg\cdot s^{-1}$ ) (характеризует степень влияния трения, возникающего при перемещении рабочего тела, на скорость его движения);

- коэффициент теплопроводности – количество теплоты, передаваемое в единицу времени через единицу поверхности тела при градиенте температур в один градус на расстоянии один метр. Обозначается -  $\lambda$  ; измеряется в Вт/мК.

Состояние термодинамической системы определяется следующими параметрами:

- температура рабочего тела  $T$  (в кельвинах –  $K$ ); характеризует интенсивность теплового движения молекул;

- плотность рабочего тела  $\rho$  ( $kg/m^3$ );

- удельный объем рабочего тела  $v$  ( $m^3/kg$ );  $v = 1/\rho$ ;

- давление рабочего тела  $p$  ( $N/m^2$  – Паскаль, Па); характеризует суммарный эффект от силового воздействия молекул.

Связь между параметрами  $p, v$  (или  $\rho$ ),  $T$  и газовой постоянной  $R$  выражается уравнением состояния газов (уравнение Клапейрона)

$$pv = RT .$$

Это уравнение позволяет решать различные задачи, связанные с эксплуатацией соответствующих технических средств сервиса.

### Задача № 1

В нормальных условиях эксплуатации транспортного средства давление сжатого газа в баллоне равно  $9 \cdot 10^5$  Па при температуре 295 К. Определить давление газа в баллоне при аварийном повышении температуры окружающей среды до 317 °С.

Представим условие задачи в формализованном виде:

$$p_0 = 9 \cdot 10^5 \text{ Па}; T_0 = 295 \text{ К}; t_1 = 317 \text{ °С}. \text{ Определить } p_1.$$

В соответствии с уравнением состояния газов можем записать:

$$p_0 v = RT_0; p_1 v = RT_1. \text{ Разделим первое уравнение на второе и получим:}$$

$$\frac{p_0}{p_1} = \frac{T_0}{T_1}. \text{ Отсюда } p_1 = p_0 \frac{T_1}{T_0} = p_0 \frac{273 + t_1}{T_0}. \text{ Подставляя численные значения, полу-}$$

$$\text{чаем: } p_1 = 9 \cdot 10^5 \frac{273 + 317}{295} = 1,8 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

### Задача № 2

Масса сжатого газа (аммиака) в баллоне емкостью 100 л равна 0,25 кг. Каково давление газа в баллоне при температуре 295 К? Не разрушится ли баллон при температуре 590 К, если предельно допустимое давление составляет  $10^6$  Па?

Представим условие задачи в формализованном виде:  $m = 0,25$ ;  $\text{NH}_3$  – аммиак;  $V = 100$  л;  $p^* = 10^6$  Па;  $T = 295$  К;  $T_1 = 590$  К. Определить  $p$ ,  $p_1$ .

На основании уравнения состояния газов получим  $p = \frac{RT}{v}$ . Входящие в формулу неизвестные параметры найдем с помощью соответствующих соотношений:

$$\text{для газовой постоянной} - R = \frac{8314}{\mu_{\text{NH}_3}} = \frac{8314}{14 + 3} = \frac{8314}{17} \text{ (Дж/кгК)};$$

$$\text{для удельного объема} - v = \frac{V}{m} = \frac{100(\text{дм}^3)}{0,25(\text{кг})} = \frac{100 \cdot 10^{-3}(\text{м}^3)}{0,25(\text{кг})} = 0,4 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Теперь определим  $p$ :  $p = \frac{8314 \cdot 295}{17 \cdot 0,4} = 0,36 \cdot 10^6 \text{ Па}$ . Для определения  $p_1$  ис-

пользуем уравнение состояния газов:  $pV = RT$ ;  $p_1V = RT_1$ .

После деления второго уравнения на первое получим

$$\frac{p_1}{p} = \frac{T_1}{T}. \text{ Отсюда } p_1 = p \frac{T_1}{T} = 0,36 \cdot 10^6 \cdot \frac{590}{295} = 0,72 \cdot 10^6 \text{ Па} < p^* = 10^6. \text{ Следовательно,}$$

баллон не разрушится.

### 3.7. Процессы преобразования тепловой и механической энергии

Эти процессы используются для получения необходимого полезного эффекта:

перемещения транспортного средства;

получения теплоты;

создания холода;

подачи рабочего тела и др.

Энергетические преобразования осуществляются последовательно. Ряд последовательных процессов образует цикл.

#### 3.7.1. Прямой цикл

Прямым циклом называется последовательное проведение термодинамических процессов, в результате осуществления которых за счет подвода теплоты от источника энергии она преобразуется в полезную механическую работу. Прямой цикл реализуют энергетические установки, называемые теплосиловыми машинами.

Независимо от типа, назначения и конструкции теплосиловых установок последовательность термодинамических процессов, протекающих в цикле этих установок, одинакова. Рассмотрим эти процессы.

Непрерывным условием осуществления термодинамических преобразований является наличие рабочего тела. Поэтому начальный процесс – ввод в

теплосиловую установку рабочего тела. Этот процесс называется *процессом подачи рабочего тела*.

Для осуществления механической работы надо иметь разность механических потенциалов (это следует из закона о первопричинности процессов). Поэтому исходное рабочее тело за счет затрат механической работы сжимается, т.е. осуществляется термодинамический *процесс сжатия «н – к»* («начало – компрессия»). В результате сжатия давление в соответствующем функциональном элементе теплосиловой установки (например, в цилиндре поршневого двигателя) существенно возрастает.

После сжатия и создания разности механических потенциалов (т.е. разности давлений) к рабочему телу подводится теплота от внешнего источника. В случае химического топлива в рабочее пространство вводится горючее, которое воспламеняется и, сгорая, образует нагретые газообразные продукты сгорания. Термодинамический процесс подвода теплоты и образования нагретого рабочего тела называется *процессом генерирования рабочего тела «к – z»* («компрессия – сгорание»). Устройство теплосиловой установки, в котором осуществляется нагревание и образование газообразного рабочего тела, называется *генератором газа*. Температура рабочего тела резко возрастает.

В результате процессов сжатия и генерирования образуется разность механических потенциалов (давлений) и тепловых потенциалов (температур). Поэтому рабочее тело самопроизвольно переходит в состояние равновесия с окружающей средой и, расширяясь, совершает техническую работу. Термодинамический процесс, в результате которого рабочее тело, самопроизвольно расширяясь, совершает техническую работу, называется *рабочим процессом «z – е»* («сгорание – конец»), а устройство, в котором он совершается, – *рабочим устройством*.

Отработавшее рабочее тело имеет температуру, большую, чем температура окружающей среды. За счет разности тепловых потенциалов осуществляется термодинамический процесс, завершающий цикл термодинамических пре-

образований – процесс охлаждения отработавшего рабочего тела «е – н».

Цикл завершается, и процессы повторяются вновь в том же порядке.

Таким образом, последовательность процессов в прямом цикле такова:

- подача рабочего тела;
- процесс сжатия (компрессия);
- процесс генерирования рабочего тела (сгорание рабочей смеси и резкое повышение температуры);
  - рабочий процесс (например, перемещение поршня в цилиндре двигателя внутреннего сгорания);
  - процесс охлаждения.

### 3.7.2. Обратный цикл

Обратным циклом называется последовательное проведение термодинамических процессов, в результате осуществления которых за счет механической работы достигается охлаждение вещества. Обратный цикл реализуется холодильными установками. Рабочее тело в них – это низкокипящие жидкости – хладагенты: аммиак, углекислота, фреоны – фторхлорпроизводные. Кроме того, используется воздух окружающей среды.

Обобщенная схема компрессионной холодильной установки (рис.3.11) содержит:

- холодильную камеру (с радиатором);
- теплообменник;
- привод (электродвигатель) и поршневой компрессор;
- охладитель и тепловой радиатор;

дроссель.

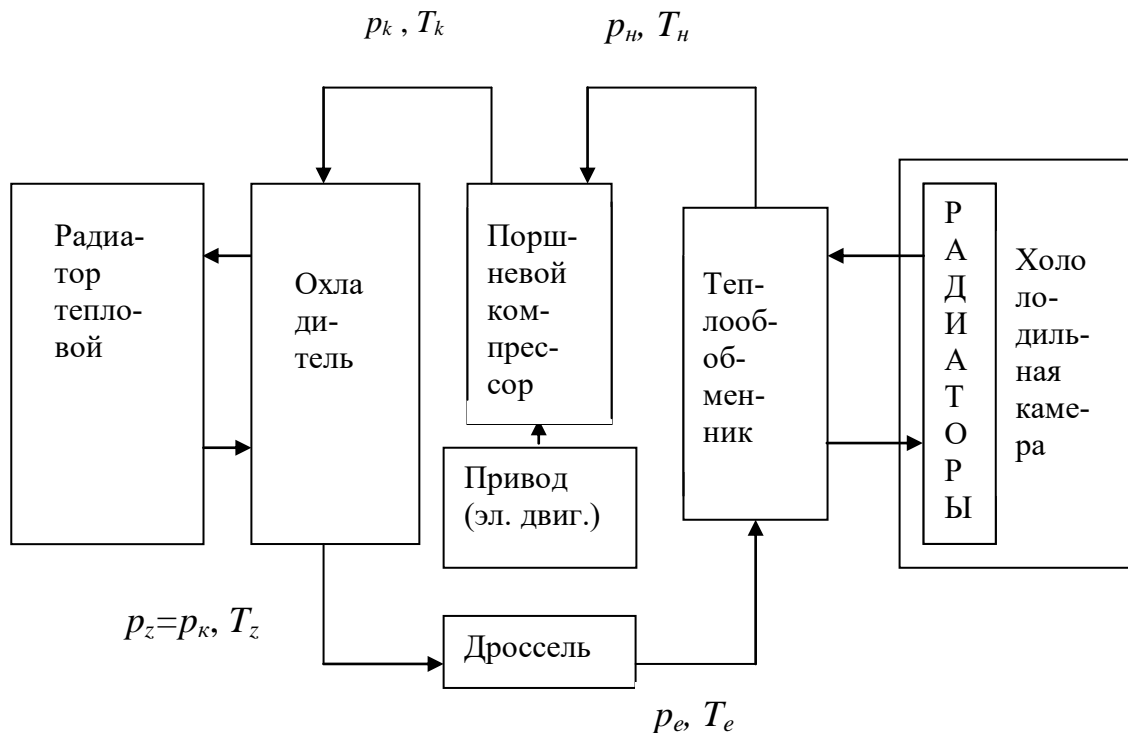


Рис. 3.11. Структурная схема холодильной установки

Работа этой схемы состоит в следующем:

- газообразное рабочее тело поступает в компрессор (с параметрами  $p_n, T_n$ );
- в компрессоре рабочее тело сжимается, в результате чего повышаются давление и температура (до значений  $p_k, T_k$ );
- в охладителе при постоянном давлении пар хладагента отдает воде теплоту и его температура становится равной температуре конденсации ( $T_z$ ). В результате пар переходит в жидкое агрегатное состояние;
- жидкий хладагент, проходя через дроссель (спиралеобразный трубопровод), за счет снижения давления и температуры (до значений  $p_e, T_e$ ) превращается в пар с малой степенью сухости (т.е. влажный пар);
- после этого влажный пар поступает в теплообменник и за счет отдачи теплоты жидкостью в радиаторах, установленных в холодильной камере (помещении), превращается в сухой пар. Жидкость в радиаторах охлаждается, обеспечивая необходимую низкую температуру в холодильной камере.

Все перечисленное составляет цикл, который повторяется, пока не будет достигнута требуемая температура.

## **4. ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН, ПРИБОРОВ, АППАРАТОВ И УСТРОЙСТВ**

### **4.1. Классификация элементов**

Для современного машиностроения характерно значительное многообразие элементов конструкций. Несмотря на это, можно выделить ряд элементов конструкции, которые определяют функционирование и надежность машины. Такие элементы конструкции называются *типовыми*.

Типовые элементы можно разделить на три группы:

- элементы общемашинного назначения;
- элементы функционального назначения;
- элементы обеспечивающих систем.

К элементам общемашинного назначения относятся:

- детали передаточных механизмов;

- оси, валы, муфты;
- опоры;
- уплотнительные элементы;
- упругие элементы;
- сосуды, трубы;
- соединения.

К элементам функционального назначения относятся:

- детали кривошипно – шатунных механизмов поршневых машин;
- лопатки роторных машин;
- диски роторных машин;
- звенья механизмов (кулисы, кулачки, ролики, шатуны, кривошипы);
- детали оснований, корпусов.

Элементами обеспечивающих систем являются:

- элементы электрооборудования;
- элементы систем смазки;
- элементы топливных систем;
- элементы системы управления.

Рассмотрим основные элементы общемашинного назначения.

## **4.2. Типы передач, виды передаточных механизмов и их характеристики**

Механические передачи вращательного движения делятся:

- по способу передачи движения от ведущего звена к ведомому на передачи *трением* (фрикционные, ременные) и *зацеплением* (цепные, зубчатые, червячные);
- по отношению скоростей ведущего и ведомого звеньев на *замедляющие* и *ускоряющие*;
- по взаимному расположению осей ведущего и ведомого валов на передачи с *параллельными, пересекающимися* и *скрещивающимися* осями валов.



Из всех передач наиболее распространенными являются зубчатые.

**Зубчатой** передачей называется механизм, передающий движение от одного вала к другому благодаря зацеплению зубьев и предназначенный для передачи вращения с изменением угловых скоростей и моментов или для преобразования одного вида движения в другой.

Зубчатые передачи между параллельными валами осуществляются *цилиндрическими* зубчатыми колесами, которые могут быть *прямозубыми*, *косозубыми* и *шевронными* (рис. 4.1, а – в). Передача вращения между валами с пересекающимися осями осуществляется *коническими* зубчатыми колесами: *прямозубыми* и с *криволинейными* зубьями (рис. 4.1, г, д). Для валов с перекрещивающимися осями применяются также *гипоидные* передачи (рис. 4.1, ж). Для преобразования вращательного движения в поступательное и, наоборот, применяется *реечная* передача (рис. 4.1, е).

Помимо перечисленных передач с наружным зацеплением, часто применяются также передачи с *внутренним зацеплением* (рис. 4.1, з).

Для передачи больших мощностей применяют преимущественно цилиндрические зубчатые колеса.

Для зубчатых передач, используемых в авиационных конструкциях, характерны высокая точность изготовления, компактность и малая масса. В этих конструкциях применяются цилиндрические зубчатые колеса внешнего и внутреннего зацепления, а также конические колеса с прямым и круговым зубом.

Преимуществами зубчатых передач являются: постоянство передаточного числа; более высокий КПД, чем у других типов передач; большая долговечность и надежность работы; малые габаритные размеры по сравнению с размерами других типов передач, передающих такую же мощность.

Недостатками зубчатых передач являются: необходимость высокой точности изготовления; шум при значительных скоростях работы; невозможность осуществления бесступенчатого изменения передаточного числа.

Для передачи вращения от одного вала к другому, когда оси валов перекрещиваются, применяется *червячная* передача. Наиболее распространенная

червячная передача (рис. 4.2, *a*) состоит из так называемого архимедова червяка, т.е. винта, имеющего трапецеидальную резьбу с углом профиля в осевом сечении, и червячного колеса. Зубья червячного колеса имеют особую форму, получаемую в результате обкатки колеса с червяком.

Червячная передача соединяет в себе свойства винтовых и зубчатых передач. Зацепление червяка и червячного колеса в осевом сечении (рис. 4.2, *б*) аналогично зацеплению рейки и цилиндрического зубчатого колеса.

Так как в зацеплении червячной пары преобладает трение скольжения, то материалы для изготовления червяка и колеса должны быть подобраны так, чтобы по возможности уменьшить потери на трение. Наивыгоднейшей является антифрикционная пара сталь – бронза. Червяки для силовых передач изготавливают из стали, поверхность витков обычно закаливают и шлифуют.

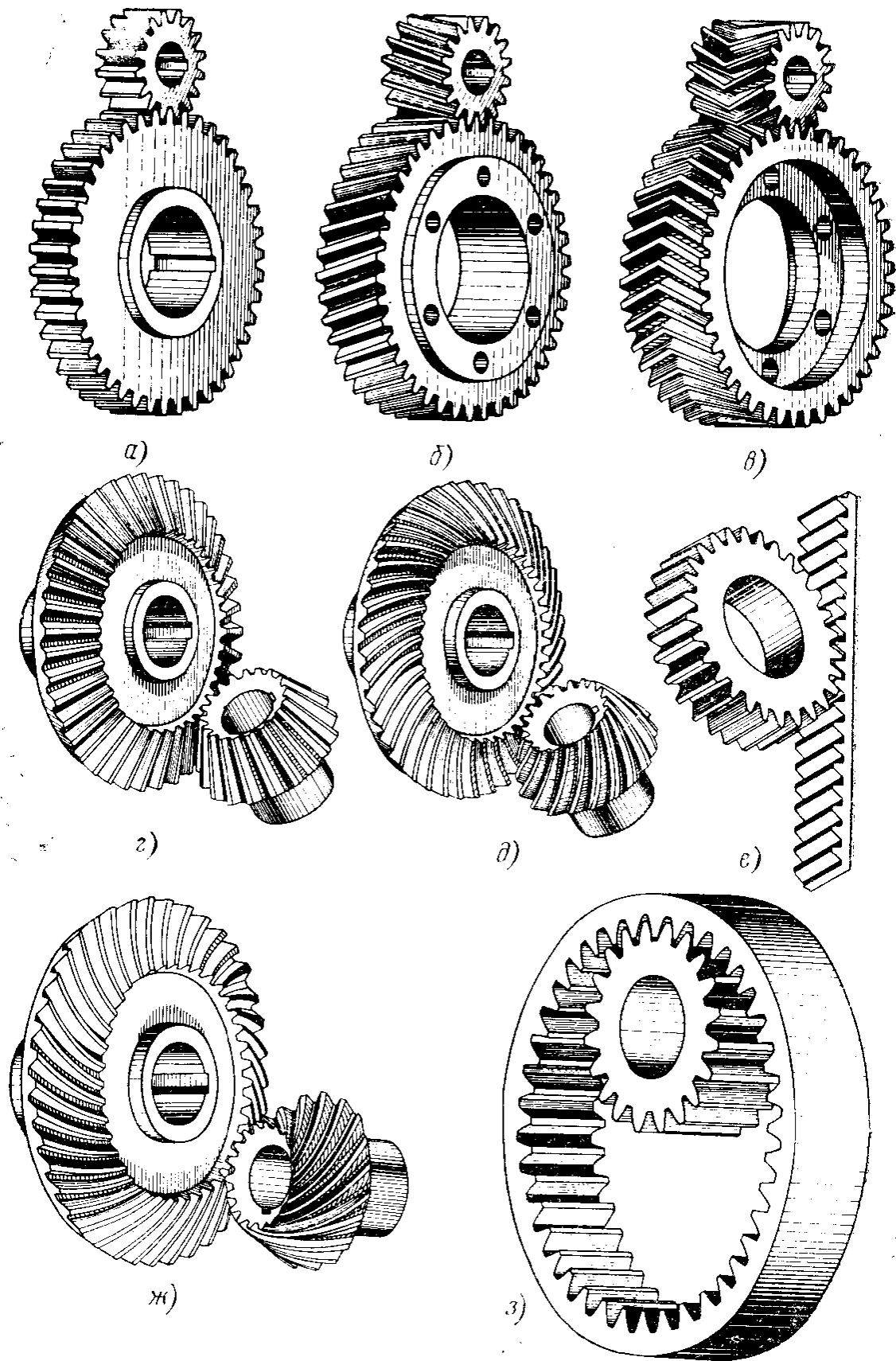


Рис. 4.1. Виды зубчатых передач

Зубчатые венцы червячных колес, работающих при больших скоростях скольжения, изготавливают из оловянисто-фосфористой бронзы.

К преимуществам червячных передач следует отнести возможность получения больших передаточных чисел, плавность и бесшумность работы. Основным недостатком червячных передач заключается в больших потерях на трение в зацеплении.

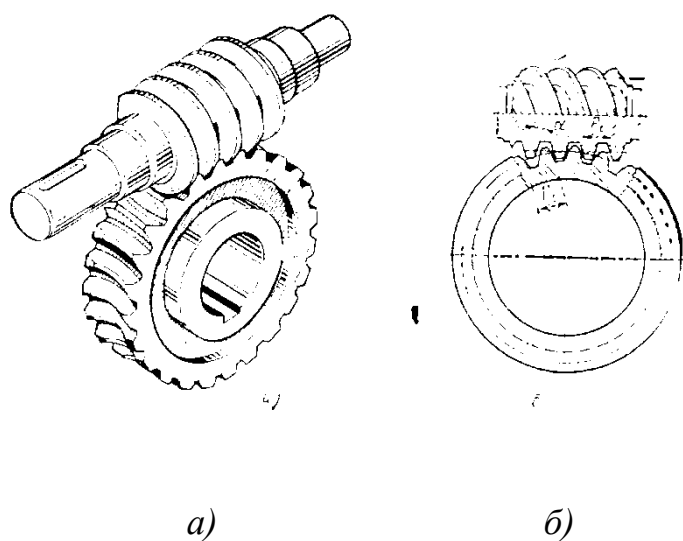


Рис. 4.2. Червячная передача

Во **фрикционных** передачах движение от ведущего к ведомому звену передается трением при непосредственном контакте или через промежуточные элементы.

Простейшая фрикционная передача (рис.4.3) состоит из двух цилиндрических катков, ведущего и ведомого, насаженных на параллельные валы и прижимаемых друг к другу с определенной силой.

В качестве нажимных устройств применяются винтовые, пружинные или рычажные механизмы.

Преимуществами фрикционных передач являются: возможность бесступенчатого изменения передаточного числа; простота конструкции и невысокая ее стоимость при выполнении передач с постоянным передаточным числом;

плавность работы и смягчение толчков при включении привода и резких перегрузках.

Основными недостатками фрикционных передач являются: большие нагрузки на валы катков и их подшипники; сравнительно невысокий КПД; ограниченность передаваемой мощности.

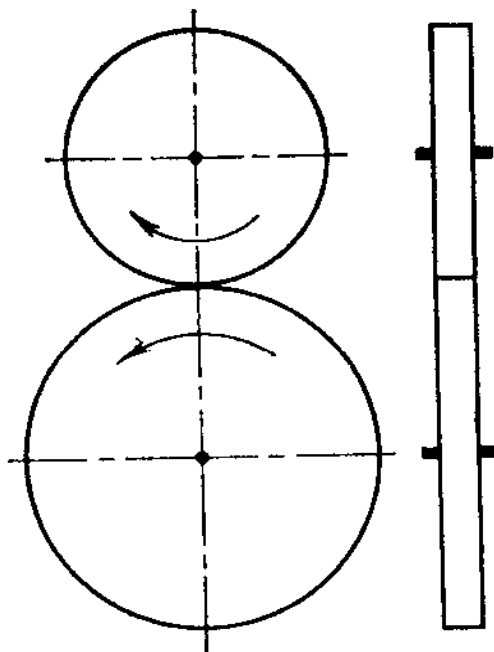


Рис. 4.3. Схема простейшей фрикционной передачи

**Ременные** передачи (рис.4.4) состоят из двух шкивов, закрепленных на валах, и охватывающего их ремня: плоского (рис.4.4, *а*), клинового (рис.4.4, *б*) или круглого сечения (рис.4.4, *в*). Ремень надет на шкивы с определенным натяжением, обеспечивающим между ремнем и шкивом трение, достаточное для передачи тягового усилия от ведущего шкива к ведомому.

Преимуществами ременных передач являются: возможность передачи движения при значительном расстоянии между валами; способность сглаживать колебания нагрузки вследствие эластичности ремня; способность выдерживать перегрузки благодаря увеличению скольжения ремня; плавность и бесшумность работы; невысокая стоимость, простота обслуживания и ремонта;

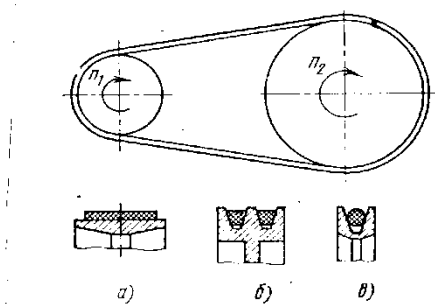


Рис. 4.4. Ременная передача

нетребовательность к точности изготовления шкивов и их установке.

Основными недостатками ременных передач являются: непостоянство передаточного числа из-за скольжения ремня на шкивах; значительные габаритные размеры при больших мощностях; большое давление на валы в результате натяжения ремня.

**Цепная** передача состоит из двух колес с зубьями особой формы (звездочек) и цепи, охватывающей их. Наиболее распространены передачи с втулочно-роликовой цепью (рис.4.5, а) и зубчатой цепью (рис.4.5, б).

Цепные передачи применяются для передачи средних мощностей (не более 150 кВт) между параллельными валами в случаях, когда межосевые расстояния велики для зубчатых передач.

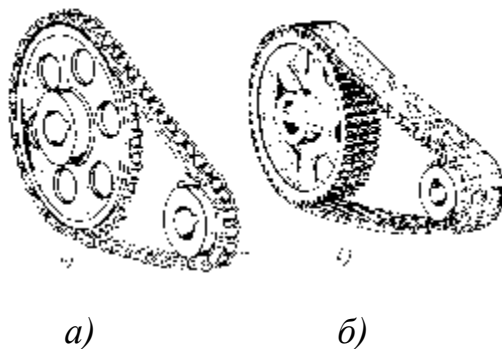


Рис. 4.5. Цепные передачи

Преимуществами цепных передач являются: отсутствие проскальзывания, достаточная быстроходность; сравнительно большое передаточное число; высокий КПД; возможность передачи движения от одной цепи нескольким звездочкам; небольшая нагрузка на валы, так как цепная передача не нуждается в предварительном натяжении цепи, необходимом для ременной передачи.

Недостатками цепных передач являются: вытяжка цепей вследствие износа шарниров; более высокая стоимость передачи по сравнению с ременной; необходимость регулярной смазки; значительный шум.

Передачи характеризуются двумя основными **показателями**: передаточным числом и коэффициентом полезного действия.

*Передаточным числом* передачи называют отношение угловой скорости ведущего звена к угловой скорости ведомого звена:

$$n = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2},$$

где  $\omega_1, n_1$  – угловая скорость в рад/с и частота вращения в об/мин ведущего звена;

$\omega_2, n_2$  – то же для ведомого звена.

*Коэффициент полезного действия* передачи равен отношению мощности  $N_2$  на ведомом валу к мощности  $N_1$ , подводимой к ведущему валу,

$$\eta = \frac{N_2}{N_1}.$$

### 4.3. Оси, валы и муфты

Общим для всех вращающихся деталей является то, что они установлены на *осях* и *валах* или соединены с ними.

**Ось** поддерживает установленные на ней детали, воспринимает поперечные (а иногда и продольные) усилия, *но не передает вращающего момента*; она работает главным образом на изгиб. Например, оси тормозных колес шасси не вращаются.

**Вал** *передает вращающий момент*; он поддерживает вращающиеся детали или соединяет их, испытывая кручение и изгиб, как, например, вал воздушного винта самолета, нагруженный силой тяжести винта и вращающим моментом.

Опорные части осей и валов называются *цапфами*; цапфа, расположенная на конце, называется *шипом* (отсюда опора шипа – подшипник), а промежуточная – *шейкой*.

**Муфты** служат для передачи вращающего момента от одного вала к другому при их последовательном расположении. В зависимости от назначения, конструкции, принципа действия различают следующие муфты:

*жесткие муфты*, которые служат для неподвижного соединения строго соосных валов;

*компенсирующие муфты*, соединяющие валы, оси которых имеют смещение относительно друг друга (радиальное или угловое);

*сцепные муфты*, обеспечивающие соединение и разъединение валов в работе;

*шарнирные муфты*, допускающие большие угловые смещения валов;

*упругие муфты*, сглаживающие неравномерность передаваемого момента;

*предохранительные муфты*, ограничивающие передаваемый максимальный вращающий момент;

*обгонные муфты*, обеспечивающие вращение ведомого вала при замедлении или остановке ведущего.

#### 4.4. Опоры

Опорные части валов и вращающихся осей соединяются с неподвижными частями конструкций корпусами подшипников. **Подшипники** поддерживают вращающиеся оси и валы и воспринимают от них радиальные и осевые нагрузки. Подшипники уменьшают трение, а, следовательно, и износ вращающихся



деталей. В зависимости от характера трения рабочих элементов подшипники разделяются на подшипники скольжения и качения.

**Подшипники скольжения** – это опоры вращающихся деталей, работающие при относительном скольжении поверхности цапфы по поверхности подшипника, разделенных слоем смазки.

В простейших случаях при периодическом вращении вала подшипник (рис.4.6, а) представляет собой втулку из износостойчивого материала (бронза, металлографитовый сплав, капрон и др.). При возможных перекосах подшипник делают самоустанавливающимся (рис.4.6, б). Подшипник периодически смазывают густой смазкой через специальные устройства.

При непрерывном вращении вала с достаточно большой скоростью подшипник обычно смазывается принудительно при помощи масляного насоса, подающего смазку в зазор между валом и подшипником. Масло увлекается вращающимся валом, в нем создается гидродинамическое давление, образуется «масляный клин», разделяющий трущиеся поверхности.

Скорость вращения вала, зазор между цапфой и подшипником, вязкость и количество подаваемого масла связаны между собой. При правильном соотношении между ними подшипник скольжения может длительное время эксплуатироваться без заметного износа.

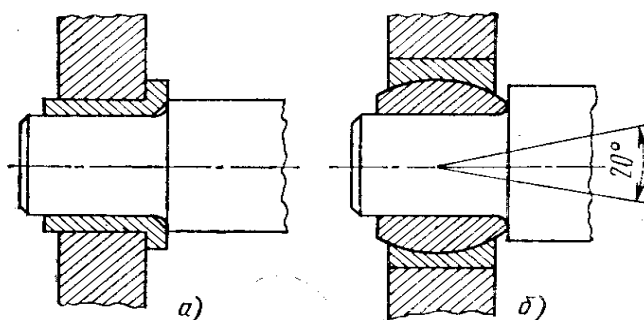


Рис. 4.6. Простейшие подшипники скольжения

Масло не только смазывает трущиеся детали, но и отводит от них тепло, поэтому в масляную систему (например, авиационного двигателя) входят масляные радиаторы, в которых масло охлаждается.

Преимуществами подшипников скольжения являются:

- возможность восприятия больших нагрузок, в том числе и ударных;
- способность гасить вибрации валов;
- малые радиальные габаритные размеры;
- бесшумность работы.

Недостатками подшипников скольжения являются:

- зависимость работоспособности подшипника от условий смазки;
- большой расход смазки;
- большой износ при резко изменяющихся угловых скоростях вращения вала;
- большое трение в покое, а следовательно, потребность в больших пусковых моментах.

**Подшипники качения** – это опоры вращающихся или качающихся деталей, использующие элементы качения и работающие на основе трения качения.

Подшипники качения (рис.4.7) состоят из типовых деталей:

- наружного и внутреннего колец с дорожками качения;
- тел качения (шариков, роликов, игл);
- сепараторов, разделяющих и направляющих тела качения.

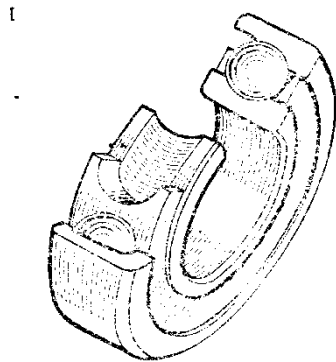


Рис. 4.7. Подшипник качения

Подшипниковые узлы, кроме собственно подшипников качения, могут иметь корпуса с крышками, крепления колец подшипников, устройства смазки и защиты.

По форме тел качения различают шариковые (рис.4.8, а, б, в) и роликовые (рис.4.8, г – ж) подшипники. При этом ролики в подшипниках могут быть цилиндрическими (рис.4.8, г), коническими (рис.4.8, е), бочкообразными (рис.4.8, д), игольчатыми (рис.4.8, ж).

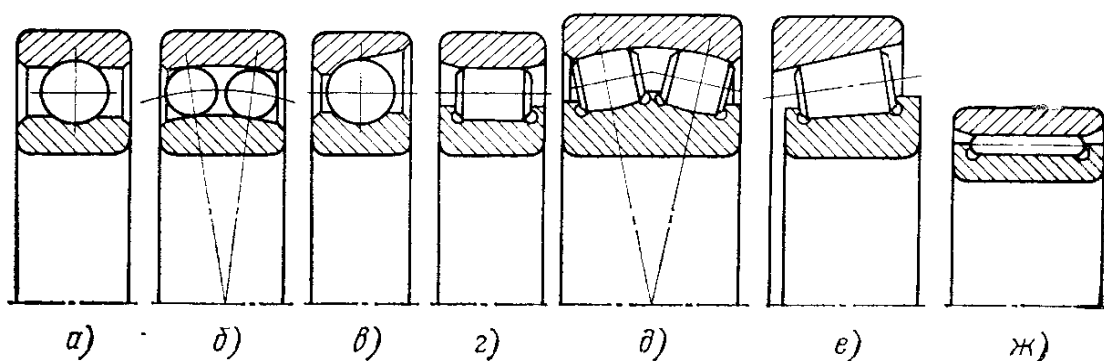


Рис. 4.8. Разновидности подшипников качения

Подшипники качения имеют международный стандарт, изготавливаются централизованно и относятся к группе деталей массового производства.

По сравнению с подшипниками скольжения они имеют ряд преимуществ:

- высокая взаимозаменяемость;
- малые осевые размеры;
- меньшие потери на трение и в результате меньший нагрев подшипников;
- малая зависимость моментов сил трения от скорости вращения в широком диапазоне;
- меньшие пусковые моменты;

- значительно меньшие требования к уходу, малый расход смазки и т.д.

Из недостатков подшипников качения наиболее важным является высокая, по сравнению с подшипниками скольжения, чувствительность к ударным нагрузкам из-за больших контактных напряжений. Это отрицательное качество в наиболее ответственных узлах в значительной степени может быть ослаблено некоторыми конструктивными решениями опорных узлов (переход от шариковых подшипников к роликовым, использование одновременно нескольких подшипников).

#### 4.5. Типы соединений элементов

Соединения элементов бывают следующих типов: заклепочные, сварочные, клеевые, резьбовые, штифтовые, зубчатые (шлицевые).

**Заклепки** (рис.4.9) бывают стальные, из алюминиевых сплавов, из неметаллических материалов (стеклотекстолит, асбест и др.).

**Сварные** соединения обеспечиваются дуговой электросваркой, аргонодуговой сваркой, контактной сваркой. Сварные швы, выполненные дуговой сваркой, по виду поперечного сечения можно разделить на две основные группы: *стыковые* (рис.4.10, а – г) и *угловые* (рис.4.10, е, ж, з). Кроме того, существуют швы по *отбортовке* (рис.4.10, д) и *прорезные* (рис.4.10, и).

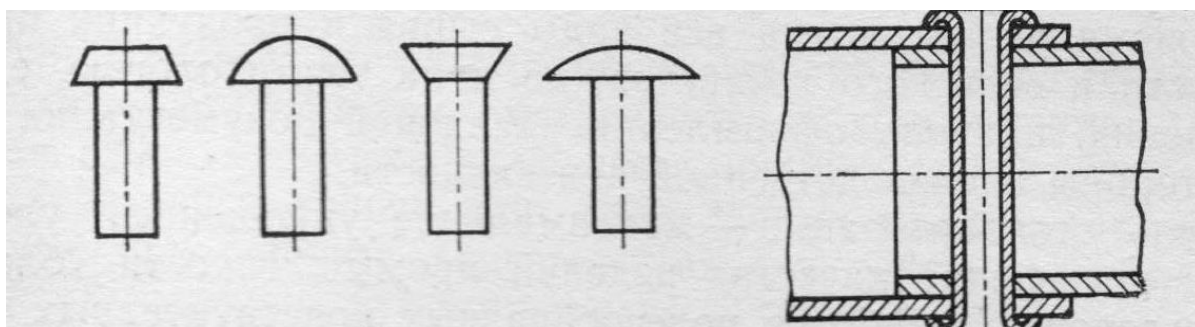


Рис. 4.9. Типы заклепок

**Клеевые** соединения могут быть двухслойными и многослойными. Кроме того, соединения могут быть комбинированными: клеесварными и клеезаклепочными.

**Резьбовые** соединения – соединение деталей с помощью резьбы, обеспечивающее их относительную неподвижность или заданное перемещение одной детали относительно другой.

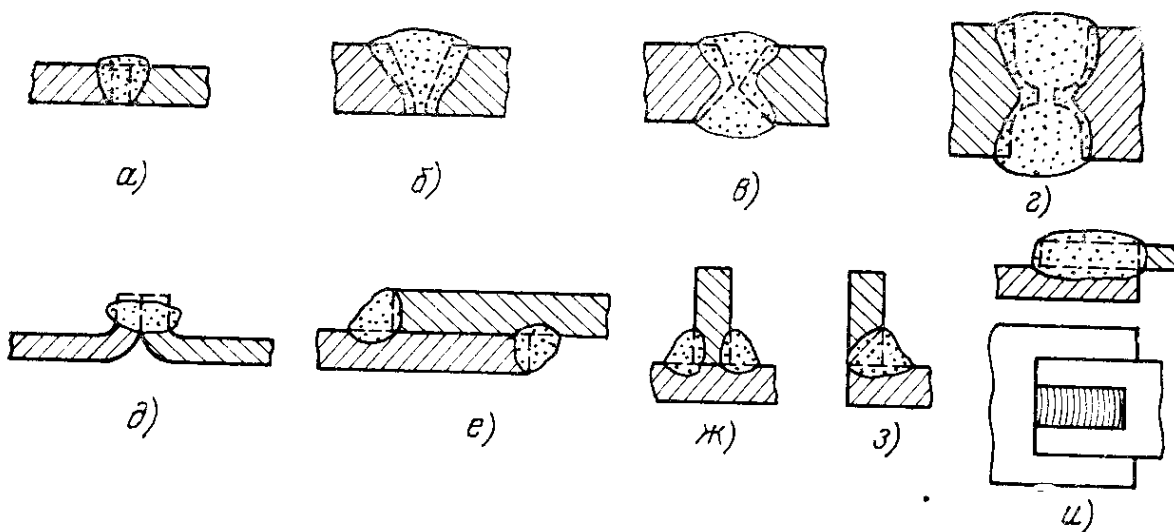


Рис. 4.10. Типы сварных швов

Резьбы делятся:

- по нарезанной поверхности на *наружные* (болт, винт) и *внутренние* (гайка, гнездо);
- по направлению резьбы на *правые* и *левые*;
- по числу заходов на *однозаходные* и *многозаходные* (двухзаходные, трехзаходные);
- по эксплуатационному назначению на *крепежные* (метрические и дюймовые), используемые для скрепления деталей и как регулировочные элементы, и *специальные* (трапецеидальные, упорные, трубные, конические), применяемые

для передачи движения в винтовых механизмах, создания герметичных соединений, передачи особо высоких осевых нагрузок и пр.

К основным видам крепежных резьбовых изделий относятся: *болт* (рис.4.11, а), *винт* (рис.4.11, б), *шпилька* (рис.4.11, в) и *гайка*.

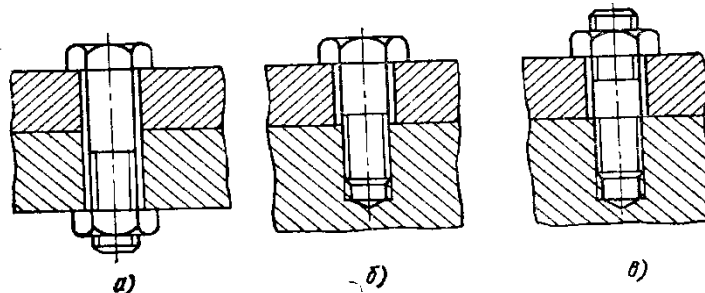


Рис. 4.11. Основные виды крепежных резьбовых изделий

#### 4.6. Основы виброзащиты машин

**Вибрация** – процесс, при котором происходят непрерывные или установившиеся колебания, вызванные длительным временем воздействия. Это механические колебания в машинах, механизмах, конструкциях. Вредная вибрация возникает, например, при движении транспортных средств, работе двигателей, турбин. Ее наличие может привести к нарушению режимов работы и разрушению. Вибрация оказывает вредное воздействие на человека.

**Виброзащита** – совокупность методов и средств для уменьшения вредного воздействия вибрации на человека. К таким методам относятся методы виброгашения, вибропоглощения, виброизоляции.

*Виброгашение* – защита механизмов от вредного влияния вибраций путем установки на подверженных вибрациям конструкциях специальных устройств динамического гашения колебаний (антивибраторов).

*Вибропоглощение* – защита механизмов от вредного влияния вибрации путем применения устройств, преобразующих колебательную энергию в тепловую. Такая защита может осуществляться в специальных устройствах, где преобразование энергии происходит за счет сил трения (демпферов), или путем

нанесения на подверженные вибрации элементы специальных вибропоглощающих покрытий (пластмасс, резины и др.)

*Виброизоляция* – защита механизмов, систем и обслуживающего персонала от вредного влияния вибрации путем установки устройств, препятствующих ее распространению (или уменьшающих ее) от источника к защищаемому объекту. Виброизолирующие устройства включают упругие крепления механизмов (виброизоляторы), упругие муфты в валопроводах, гибкие патрубки в трубопроводах и т.д.

Широко известны такие виброизолирующие элементы как различного рода упругие прокладки из резины, пружинящих пластмасс; специально устанавливаемые в основания конструкций стальные пружинные виброгасители, защищающие объекты от вибрационных воздействий ударного типа.

#### **4.7. Основы конструирования и расчета деталей машин**

Создание машин должно предусматривать их наибольший экономический эффект и высокие технико-экономические и эксплуатационные показатели. Основное требования, предъявляемые к создаваемой машине: высокая производительность, безотказность, технологичность, ремонтпригодность, долговечность, минимальные габариты и масса, удобство в эксплуатации, экономичность, техническая эстетика. Все эти требования учитывают в процессе проектирования и конструирования.

Проектирование – это разработка общей конструкции изделия. Конструирование – это дальнейшая детальная разработка всех вопросов, решение которых необходимо для воплощения принципиальной схемы в реальную конструкцию.

Проект – это документация, получаемая в результате проектирования и конструирования. Расчеты деталей машин включают:

- определение сил, действующих на звенья узла;
- расчеты конструкций на прочность;

- обоснование выбора материала и наиболее технологичных форм деталей;
- определение процесса сборки и разборки узлов и машины в целом.

При проведении расчетов используют действующие стандарты, справочную литературу.

Наиболее важные параметры, подлежащие расчету, – это величины воздействующих на деталь нагрузок (действующих на сжатие, изгиб, кручение), прочностных характеристик, геометрических размеров детали (диаметра, длины, толщины, количества зубьев в зубчатых передачах ), требуемых типов и размеров крепежных элементов.



## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЧЕТА

1. Определение системы сервиса и ее функционирования.
2. Услуги, оказываемые человеку на транспорте.
3. Услуги, оказываемые транспортному средству.
4. Услуги, оказываемые транспортной системе.
5. Общая характеристика технических средств сервиса.
6. Мероприятия по предупреждению пожаров.
7. Типы систем пожаротушения.
8. Системы микроклимата.
9. Функции систем оказания услуг в сфере заказов на перевозки пассажиров и грузов.
10. Системы обслуживания транспортных средств.
11. Показатели эффективности систем сервиса.
12. Надежность как комплексное свойство объекта.
13. Состояние объекта и события, характеризующее надежность.
14. Показатели безотказности средств сервиса.
15. Показатели долговечности средств сервиса.
16. Показатели ремонтпригодности средств сервиса.
17. Комплексные показатели надежности средств сервиса.
18. Факторы, влияющие на надежность средств сервиса.
19. Основы расчета долговечности элементов средств сервиса.
20. Классификация функциональных элементов систем сервиса.
21. Фундаментальные законы естествознания.
22. Законы механики.
23. Параметры вращательного движения.
24. Центр масс объекта.
25. Полезные силы при поступательном движении объекта.
26. Гравитационная сила.
27. Силы сопротивления движению. Силы трения.

28. Основы термодинамики: термодинамика как наука, теплота, рабочее тело.
29. Характеристики свойств рабочего тела.
30. Параметры состояния термодинамической системы.
31. Процессы преобразования энергии: прямой цикл.
32. Процессы преобразования энергии: обратный цикл.
33. Классификация элементов машин.
34. Типы передач и виды передаточных механизмов.
35. Понятие об осях, валах и муфтах.
36. Подшипники: назначение и виды.
37. Типы соединений элементов.
38. Виды защиты механизмов и человека от вибраций.
39. Основные этапы расчета деталей машин и параметры, подлежащие расчету.

## КРАТКИЙ СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

**Безотказность** – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки.

**Вал** – механизм, служащий для передачи вращающего момента; он поддерживает вращающиеся детали или соединяет их, испытывая кручение и изгиб.

**Вращательное движение** – движение тела, отдельные точки которого описывают окружности разных радиусов с центрами, лежащими на неподвижном перпендикуляре к плоскости тела (на оси).

**Вибрация** - процесс, при котором происходят непрерывные или установившиеся колебания, вызванные длительным временем воздействия.

**Виброзащита** – совокупность методов и средств для уменьшения вредного воздействия вибрации на человека. К таким методам относятся методы виброгашения, вибропоглощения, виброизоляции.

**Гравитационная сила** – сила взаимодействия между любыми двумя материальными телами.

**Движитель** – устройство, с помощью которого механическая энергия, вырабатываемая двигателем, преобразуется в тяговую силу.

**Долговечность** – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технических условий и ремонтов.

**Исправное состояние** – состояние объекта, характеризуемое соответствием всех его параметров технической документации.

**Коэффициент технического использования** – отношение математического ожидания интервалов времени пребывания объектов в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к сумме математических ожиданий пребывания объекта в работоспособном состоянии, простоя, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период эксплуатации.

**Критерий эффективности** – правило, с помощью которого, используя показатель эффективности, принимают решение о варианте системы.

**Муфта** – устройство, служащее для передачи вращающего момента от одного вала к другому при их последовательном расположении.

**Надежность** – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

**Наработка** – продолжительность или объем работы объекта. Нарработка, например, транспортных средств может выражаться в единицах времени, количества циклов работы, пройденным расстоянием (км, тыс.км), массой перевезенного груза (тонны), пространственно-массовыми характеристиками (тонно - километры) и др.

**Неисправное состояние** – состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

**Обратный цикл** – последовательное проведение термодинамических процессов, в результате осуществления которых за счет механической работы достигается охлаждение вещества.

**Объекты оказания услуг** – люди (пассажиры, члены экипажа, сотрудники транспортных агентств и др.), транспортные средства, организационно-технические транспортные системы (совокупности управляющих лиц, средств управления и объектов управления).

**Ось** – механизм, поддерживающий установленные на нем детали, воспринимает поперечные (а иногда и продольные усилия), *но не передает вращающего момента*; она работает главным образом на изгиб.

**Отказ** – событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта.

**Передача** – механизм, служащий для передачи вращательного движения от ведущего звена к ведомому.

**Передача зубчатая** – механизм, передающий движение от одного вала к другому благодаря зацеплению зубьев и предназначенный для передачи вращения с изменением угловых скоростей и моментов или для преобразования одного вида движения в другой.

**Передача ременная** – механизм, состоящий из двух шкивов, закрепленных на валах, и охватывающего их ремня: плоского, клинового или круглого сечения.

**Передача фрикционная** – механизм, состоящий из двух цилиндрических катков, ведущего и ведомого, насаженных на параллельные валы и прижимаемых друг к другу с определенной силой.

**Передача цепная** – механизм, состоящий из двух колес с зубьями особой формы (звездочек) и цепи, охватывающей их.

**Передача червячная** – механизм, служащий для передачи вращения от одного вала к другому, когда оси валов перекрещиваются.

**Передаточное число передачи** – отношение угловой скорости ведущего звена к угловой скорости ведомого звена.

**Повреждение** – событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния.

**Подшипники** – механизмы, поддерживающие вращающиеся оси и валы и воспринимающие от них радиальные и осевые нагрузки.

**Подшипники качения** – это опоры вращающихся или качающихся деталей, использующие элементы качения и работающие на основе трения качения.

**Подшипники скольжения** – это опоры вращающихся деталей, работающие при относительном скольжении поверхности цапфы по поверхности подшипника, разделенных слоем смазки.

**Показатель эффективности** – мера, с помощью которой измеряется свойство системы, проявляющееся при ее функционировании для достижения определенной цели.

**Предельное состояние** – состояние объекта, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно, либо восста-

новление его исправного или работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

**Прямой цикл** – последовательное проведение термодинамических процессов, в результате осуществления которых за счет подвода теплоты от источника энергии она преобразуется в полезную механическую работу.

**Работоспособное состояние** – состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

**Рабочее тело** – совокупность материальных объектов (веществ), с помощью которых работает транспортная система и ею создается полезный эффект.

**Ремонтопригодность** – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонта.

**Силы сопротивления движению** – силы трения и силы сопротивления перемещению тела.

**Системы микроклимата** – системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

**Системы обслуживания транспортных средств** – совокупности средств, предназначенных для диагностирования, восстановления работоспособности в случае отказов или происшествий, проведения плановых технических обслуживаний и ремонтов транспортных средств.

**Системы пожаротушения** – группа систем, предназначенных для подачи огнегасящих веществ (воды, пара, пены, инертных газов, легкоиспаряющихся жидкостей и т.п.) к очагу пожара или для обеспечения профилактических противопожарных мероприятий.

**Соединения элементов** – изделия, материалы или технологические способы скрепления деталей, узлов, элементов конструкции между собой. Соединения могут быть заклепочными, клеевыми, резьбовыми, сварными.

**Сохраняемость** – свойство объекта сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение и после хранения и (или) транспортирования.

**Срок службы** – календарная продолжительность от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после ремонта определенного вида до перехода в предельное состояние.

**Теплота** – форма энергии, проявляющаяся в интенсивности теплового движения молекул и атомов вещества.

**Термодинамика** – наука о соотношении между теплотой и работой, о свойствах рассматриваемого объекта и параметрах состояния.

**Технические средства сервиса** – транспортные средства, средства обеспечения необходимого микроклимата, безопасности, оборудования автозаправочных станций, станций технического обслуживания, ремонтных предприятий, информационно-вычислительные средства и системы.

**Технический ресурс** – наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта определенного вида до перехода в предельное состояние.

**Транспортные услуги** – услуги по доставке грузов и пассажиров.

**Фундаментальные законы естествознания** – законы, составляющие основу всех явлений, происходящих в природе.

**Функция оказания услуг человеку на транспорте** – обеспечение проездными документами, доставка к транспортному средству, обеспечение комфортных условий и безопасности в транспортном средстве.

**Функциональные элементы производственных систем сервиса** – диагностические станции, станции технического обслуживания, ремонтные заводы, депо, доки.

**Цапфа** – опорная часть осей и валов.

**Цели функционирования систем сервиса** – полнота, качество, своевременность и надежность оказания услуг.

**Эффективность** – степень приспособленности системы к выполнению своих функций для достижения целей функционирования.



## ЛИТЕРАТУРА

<b>Основная литература</b>		
Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Советов В.М.	Основы функционирования систем сервиса	ИНФРА-м, 2010
Волгин В.В.	www.knigafund.ru Автосервис: структура и персонал: Практическое пособие	Дашков и К, Москва, 2009 г.
Волгин В.В.	www.knigafund.ru Автосервис. Создание и компьютеризация: Практическое пособие	Дашков и К, Москва, 2010 г.
Лебедев Б.С.	Организация автосервиса	Рязань: СТИ, 2010
Савич Е.Л., Болбас М.М.	Организация сервисного обслуживания легковых автомобилей	М.:ИНФРА-М, 2012
Верёвкин Н.И., Новиков А.Н.	Производственно-техническая инфраструктура сервисного обслуживания автомобилей	М.: ИД Академия, 2013
<b>Дополнительная литература</b>		
Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Г.А. Аванесова	Сервисная деятельность	Аспект пресс, 2006
Е.И. Балалова	Сервисная деятельность	Дело и сервис, 2006

Подписано в печать 24.03.20. Формат 84x108/32  
Гарнитура Таймс. Печать офсетная.  
Бумага мелованная. Усл. Печ. л. – 6,4.  
Тираж 50 экз.

Издательство Современного технического университета  
390048, г. Рязань, ул. Новоселов, 35А.  
(4912) 300630, 30 08 30