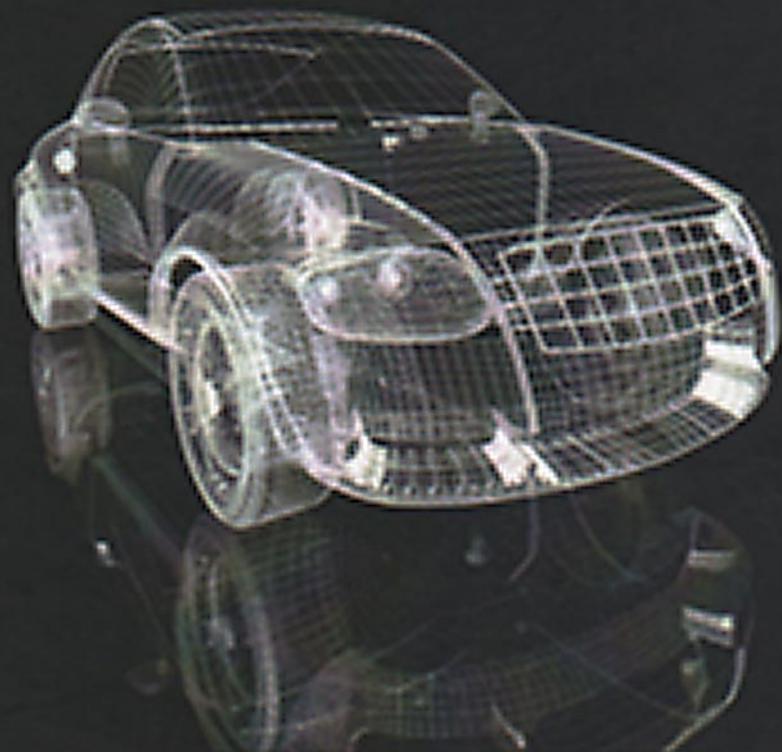




**В. Д. Исаенко
П. В. Исаенко
А. В. Исаенко**



**ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
(Автомобильный транспорт)**

УДК 621.01-192:629.113.004.58 (075)
ББК 39.38я7

Серия «Учебники ТГАСУ» основана в 2013 году

Исаенко, В.Д. Основы теории надежности технических систем (Автомобильный транспорт) [Текст] : учебное пособие / В.Д. Исаенко, П.В. Исаенко, А.В. Исаенко. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2018. – 208 с.
ISBN 978-5-93057-864-5

В настоящем пособии рассмотрены закономерности и причины изменения технического состояния автотранспортных средств в процессе эксплуатации. Изложены теоретические и практические основы оценки надежности агрегатов автотранспортных средств по стандартным параметрам с учетом закономерностей распределения случайных величин и международных стандартов качества ИСО серии 9000.

Рассмотрены вопросы оценки надежности отдельных узлов и систем автотранспортных средств и некоторых эпизодов эксплуатации и ремонтно-восстановительного производства.

Предназначено для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» направленности 23.03.03.01 «Автомобильное хозяйство и автомобильный сервис» при изучении дисциплины Б1. Б.23 «Основы теории надежности».

УДК 621.01-192:629.113.004.58 (075)
ББК 39.38я7

Рецензенты:

А.Д. Соболев, начальник Управления государственного автомобильного надзора по Томской области Федеральной службы по надзору в сфере транспорта – главный государственный инспектор госавтонадзора по Томской области, государственный советник РФ 2 класса;

Ю.А. Власов, докт. техн. наук, профессор, декан механико-технологического факультета ТГАСУ.

ISBN 978-5-93057-864-5

© Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2018

© Исаенко В.Д., Исаенко П.В., Исаенко А.В., 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	7
1. Общие положения теории надежности автотранспортных средств	8
1.1. Общие понятия.....	8
1.2. Термины и определения	13
2. Причины снижения надежности автотранспортных средств	18
2.1. Общие сведения	18
2.2. Влияние условий эксплуатации на надежность.....	25
3. Общие сведения о статистической информации	35
3.1. Случайная величина и ее характеристики.....	35
3.2. Система сбора и подготовка информации к оценке надежности	40
3.3. Обработка первичной информации	46
3.3.1. Построение и группировка вариационного ряда	46
3.3.2. Критерии согласия. Проверка гипотезы о соответствии эмпирических и теоретических законов распределений	47
4. Некоторые законы распределения случайной величины	50
5. Закономерность распределения непрерывных случайных величин (закономерность II вида)	58
6. Производственные функции в оценке надежности	64
6.1. Математические формы связи	64
6.2. Виды производственных функций.....	66
6.3. Закономерности изменения технического состояния автотранспортных средств.....	70
6.3.1. Закономерность I вида	71
6.3.2. Закономерность III вида	75

7. Надежность и ее свойства	77
7.1. Надежность – показатель качества изделий.....	77
7.2. Свойства и показатели надежности	79
7.3. Комплексные показатели надежности.....	86
8. Оценка надежности сборочных единиц автотранспортных средств	88
8.1. Показатели надежности для неремонтируемых изделий.....	88
8.2. Показатели надежности для ремонтируемых изделий.....	90
9. Понятие надежности технологического процесса изготовления и ремонта автотранспортных средств	95
9.1. Процесс изготовления автотракторной техники	95
9.2. Технологичность деталей – основа эксплуатационной надежности.....	97
9.3. Эксплуатационная технологичность.....	100
10. Порядок расчета вероятностной оценки надежности технических систем по уровню безотказности	105
10.1. Нормирование показателей надежности	105
10.2. Надежность систем в период нормальной эксплуатации	106
10.3. Надежность систем при механическом изнашивании.....	109
10.4. Надежность подшипников	110
10.5. Надежность резьбовых соединений.....	111
11. Испытания на надежность	115
11.1. Виды испытаний на надежность	115
11.2. Объекты испытания на надежность	116
11.3. Характеристики, оцениваемые при испытаниях на надежность.....	117
11.4. Причины отказа изделия, возникающего раньше установленного ресурса	118
11.5. Периоды эксплуатации машин	120

12. Повышение надежности машин	121
12.1. Методы и средства повышения надежности.....	121
12.2. Пути повышения надежности автомобилей.....	124
12.3. Направления дальнейших исследований в области надежности	127
13. Управление надежностью автотранспортных средств.....	135
13.1. Основы прогнозирования работоспособности машин и оборудования.....	135
13.1.1. Общие положения	135
13.1.2. Основные задачи и этапы прогнозирования надежности машин	139
13.1.3. Технологические принципы разработки математической модели прогнозирования остаточного ресурса	142
13.2. Международные стандарты качества ISO 9000	145
13.3. Классификация статистических методов контроля качества изделий	150
13.3.1. Метод расслоения данных.....	149
13.3.2. Диаграмма Парето.....	152
13.3.3. Причинно-следственная диаграмма	153
13.3.4. Гистограмма.....	155
13.3.5. Диаграмма разброса	161
13.3.6. Контрольный листок	161
13.3.7. Контрольная карта.....	163
13.4. Контрольные карты Шухарта в системе управления качеством.....	165
13.4.1. Общие сведения.....	165
13.4.2. Основы контрольных карт.....	167
13.4.3. Принципы построения карты	170
Контрольные вопросы и задания	172
14. Примеры решения практических задач по надежности технических систем	174

Заключение	200
Список рекомендуемой литературы	201
Приложение 1. Значение критерия χ^2 Пирсона в зависимости от вероятности безотказной работы и степени свободы	204
Приложение 2. Нормированная функция нормального распределения	205
Приложение 3. Распределение Стьюдента	206
Приложение 4. Схема контрольных карт Шухарта	207

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

1.1. Общие понятия

Современное развитие автотранспортного комплекса характеризуется созданием и эксплуатацией достаточно сложных машин и технологического оборудования (объединенных в одно понятие – объекты), требующих постоянного контроля над их надежностью.

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.

Теория надежности – это наука о методах обеспечения и сохранения надежности при проектировании, изготовлении и эксплуатации изделий.

На этапе проектирования машины ее надежность рассчитывается путем теоретических предпосылок, учитывающих конструктивные особенности узлов и механизмов, свойства и состояния материалов и деталей, способных с определенной долей вероятности выполнять заданные функции в различных условиях эксплуатации. На этом этапе надежность закладывается конструктором.

Надежность машины обеспечивается на этапе ее изготовления. Она зависит от качества изготовленных деталей, методов контроля выпускаемой продукции, возможностей управления ходом технологического процесса, от качества сборки машины и ее узлов, методов испытания готовой продукции и других показателей технологического процесса. Ответственность за качество машин здесь лежит на технологах и производственниках.

При эксплуатации машины реализуется ее надежность. Показатели безотказности и долговечности проявляются только

в процессе использования машины и зависят от методов и условий эксплуатации машины, принятой системы ее ремонта, методов технического обслуживания, режимов работы и других эксплуатационных факторов. И за всем этим должен следить сам потребитель на основании приобретенных теоретических знаний и опыта.

Теория надежности технических систем находится на стыке нескольких наук: теории вероятностей и математической статистики, теории трения и изнашивания, теории эксперимента и др. Основной задачей теории надежности является изучение закономерностей возникновения отказов и неисправностей объекта и на базе результатов исследований – разработка мероприятий, направленных на обеспечение выполнения объектом заданных функций с наименьшими затратами.

Надежность машины зависит от множества факторов, характеризующих качество ее проектирования, изготовления, организацию технической эксплуатации, а также условия эксплуатации. Поэтому надежность машин даже одной и той же модели различна.

Обеспечение надежности машины является сложной проблемой, для решения которой необходимо проведение комплекса конструкторских, технологических и организационных мероприятий на всех стадиях ее существования.

Конструирование машины, обоснование технологии изготовления и сборки ее основных элементов, разработку и оптимизацию управляющих воздействий, направленных на поддержание заложенной в нее надежности в реальных условиях эксплуатации, следует проводить, учитывая техническое состояние основных сборочных единиц и закономерности его изменения в процессе работы машины.

Характеристики надежности машин, их деталей, узлов и агрегатов имеют вероятностный характер. Поэтому ее можно характеризовать только путем обработки большого числа данных, полученных при их эксплуатации или испытаниях, с помощью методов теории вероятностей и математической статистики.

Как известно из теории вероятностей, явления, которые при неоднократном воспроизведении одного и того же опыта протекают каждый раз несколько по-иному, называются *случайными*.

Отказы деталей машин, происходящие во время испытаний или при их эксплуатации, относят к случайным, поскольку возникновение их в каждом отдельном случае предсказать невозможно.

Вероятность (появление) события принято выражать положительным числом (от нуля до единицы).

Качество промышленной продукции вообще и машин в частности оценивается с помощью различных показателей: назначения надежности, технологичности, эргономичности, стандартизации и унификации, патентно-правовых. Надежность является одним из основных свойств и во многом определяет качество изделий.

Из всего многообразия показателей, характеризующих технический уровень машин, показатели надежности в наибольшей мере поддаются управлению в сфере проектирования, производства и эксплуатации.

Показатели надежности оцениваются теоретическими уравнениями или статистическими методами, приемлемыми для практических целей.

Поскольку все нормативы для машин устанавливаются на километры пробега или часы работы, характеристику их надежности принято рассматривать как функцию наработки.

Условия эксплуатации технических систем, особенно автотранспортных средств, настолько сложны и неоднозначны, что угадать степень их влияния на отказы даже в реальном режиме времени практически невозможно без построения математических моделей.

Недостаточная надежность машин сказывается на уменьшении их производительности из-за простоев в ремонте, на величине материальных и трудовых затрат на их содержание, на росте капитальных вложений в производственные фонды ремонтного производства и промышленности, занятую выпуском запасных частей.

Для управления уровнем надежности требуется знание широкого круга вопросов по основам теории вероятностей и математической статистике, триботехнике, методам проектирования, производства и эксплуатации машин и др. Большинство из этих вопросов рассматриваются в данном курсе, причем основное внимание уделяется вопросам обеспечения надежности машин и оборудования при эксплуатации в различных климатических и дорожных условиях, а также вопросам прогнозирования их остаточного ресурса.

Повышение надежности машин имеет огромное народнохозяйственное значение. Для обеспечения надежной работы машин необходимо постоянно совершенствовать их конструкцию и технологию производства, разрабатывать и внедрять мероприятия по поддержанию работоспособности машин в эксплуатации.

Решать эти задачи призваны кадры, знакомые с теорией надежности и способные применить свои знания при проектировании, производстве и эксплуатации машин. В связи с этим изучение практических и научных основ надежности машин должно стать неотъемлемой частью учебного процесса прикладного бакалавриата, направленного на более углубленное изучение расчета параметров надежности отдельных агрегатов, лежащих в основе ее управления.

В этой связи в настоящем учебном пособии вопросы надежности объектов, закладываемой на стадии проектирования, затрагиваются вскользь с учетом того, что все они стандартного производства и выполнены в соответствии с требованиями технических условий на проектирование. То есть объекты исходно обладают высоким уровнем общей функциональной готовности, ремонтпригодности, унификации и взаимозаменяемости, и в первую очередь это касается наиболее уязвимых деталей и узлов.

Исходя из этих ограничений к надежности технических систем при их эксплуатации должны предъявляться весьма высокие требования, т. к. внезапный их отказ может привести к высокозатратным простоям и повышению себестоимости транспортных работ.

Задачами эксплуатационной надежности АТС являются:

- выявление и анализ причин, способствующих выходу деталей из строя;
- выявление сборочных единиц узлов и механизмов, лимитирующих надежность АТС;
- установление закономерностей изменения нормируемых параметров надежности сборочных единиц при эксплуатации АТС в конкретных условиях;
- обоснование норм расхода запасных частей и периодичности технического обслуживания АТС в рамках «Положения о ТО и ТР подвижного состава»;
- анализ влияния условий и режимов эксплуатации АТС на характер отказов сборочных единиц;
- оценка экономической эффективности принятых мероприятий по повышению эксплуатационной надежности АТС.

Для всесторонней оценки надежности машин и оборудования используют различные источники и методы получения информации.

Основной целью сбора и обработки информации является своевременное обеспечение полных, объективных и достоверных данных о надежности машин и их элементов в эксплуатации.

Система сбора и обработки информации о надежности технических систем должна обеспечить:

- своевременное получение объективных статистических данных об отказах сборочных единиц АТС, работающих в различных условиях эксплуатации;
- учет и согласование принятых мероприятий между участниками, обеспечивающими надежность АТС;
- математическую обработку статистических данных в оперативном режиме и представление результатов в требуемой форме для оценки надежности машин;
- учет и согласование мероприятий по повышению надежности технических систем, проводимых разработчиками, заводами-изготовителями и эксплуатационными организациями.

Сбор и анализ информации о надежности должны проводить высококвалифицированные специалисты, знакомые с основами теории надежности и математической статистики, конструкцией, технологией изготовления машин и правилами их технической эксплуатации.

Система технического обслуживания и ремонта техники, а также порядок сбора и учета информации о надежности регламентированы ГОСТ 20857–75, ГОСТ 16468–70, ГОСТ 17510–72 и ГОСТ 20307–74, на базе которых разработаны отраслевые стандарты, устанавливающие порядок и форму сбора эксплуатационной информации на автотранспортных предприятиях.

Собранная информация должна накапливаться в бортовых журналах АТС, формулярах и компьютерной базе автопредприятия.

1.2. Термины и определения

К основным понятиям и терминам при расчете и анализе надежности автотранспортных средств (наземных технических систем) относят понятия, содержащиеся в ГОСТ 27.002–89, ГОСТ 27.003–90.

Под *технической (механической) системой (ТС)* понимают совокупность совместно действующих элементов, предназначенных для выполнения заданных конечных функций (автотракторная техника, транспортная машина, транспортно-технологический комплекс, технологическое оборудование и т. п.).

Технический объект (объект) – предмет, подлежащий расчету, анализу, испытанию, исследованию в процессе его проектирования, изготовления, применения, технического обслуживания (ТО), ремонтов, хранения и транспортирования в целях обеспечения эффективности его функционального назначения.

Элемент – объект как часть технической системы. Такими элементами могут быть не только детали, но и механизмы, агре-

гаты и даже машины. Например, бульдозер в целом – это ТС, состоящая из четырёх-пяти элементов: трактора, отвала, рыхлителя (брусьев), системы управления, каждый из которых также состоит из элементов. В этом случае то, что было системой при рассмотрении части, будет элементом рассмотрения целого. Поэтому элемент и система – понятия относительные.

Надёжность – свойства объекта выполнять и сохранять в течение требуемой наработки заданные ему функции в заданных режимах и условиях эксплуатации, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования.

Надёжность является внутренним свойством объектов. Оно проявляется во взаимодействии этого объекта с другими объектами внутри ТС, а также с внешней средой, являющейся объектом, с которым взаимодействует сама ТС в соответствии с ее назначением. Это свойство определяет эффективность функционирования ТС во времени через свои показатели.

Являясь комплексным свойством, надежность объекта оценивается через показатели частных свойств. Их четыре: безотказность, долговечность, контролеремонтопригодность (технологичность) и сохраняемость. Машины, работающие на технологии в реальном режиме времени (большегрузные автосамосвалы, карьерная техника), оцениваются по первым трем свойствам, сезонная техника – по всем четырем, резинотехнические изделия (РТИ) – по второму и четвертому.

Безотказность – это свойство объекта сохранять работоспособность непрерывно в течение заданной наработки. Это свойство проявляется в зависимости от назначения объекта в течение всего жизненного цикла и характеризует количество ТО и темп старения АТС.

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонтов. Это свойство характеризует продолжительность работы объекта по суммарной наработке.

Контролеремонтопригодность – это приспособленность машины и любого её изделия, в том числе и детали машины, к контролю, предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей путём проведения диагностики, технического обслуживания и ремонтов. Это свойство характеризует компоновочное решение ТС, а также их доступность и легкосъемность (разбираемость). Поэтому часто сюда включают понятие технологичности.

Сохраняемость – свойство объекта непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние во время хранения, транспортирования или ожидания.

Показатель надежности – величина, характеризующая одно или несколько свойств надежности (комплексный показатель).

Стандартные показатели надёжности (СПН) – количественные показатели, оценивающие степень работоспособности объекта в соответствии с ГОСТ 20237–74.

Нестандартные показатели надёжности (НСПН) – показатели, оценивающие степень работоспособности объекта по функциональным параметрам и зависимостям (степенная, биномиальная и пр.), а также по числовым характеристикам случайного распределения.

Технический объект может находиться в одном из состояний: исправном, работоспособном, неработоспособном, допустимом и предельном. Переход из одного состояния в другое сопровождается повреждением или отказом.

Повреждение – это событие, приводящее к нарушению исправности объекта при сохранении его работоспособности. То есть повреждение – это отклонение работоспособности объекта от нормального состояния.

Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта.

Все виды состояний и событий в ГОСТ 27.103–83 определяются критериями. События же обнаруживаются через диагностические признаки и параметры, нормативы которых оговорены в нормативно-технической документации (НТД).

Отказы классифицируют по следующим признакам: 1) по источнику возникновения (конструктивные, технологические, эксплуатационные, износосвые); 2) по характеру процесса – постепенные и внезапные; 3) по последствиям – опасные-безопасные, зависимые-независимые; 4) по частотам возникновения – с малой наработкой до 4000 км, средней – до 16 000 км и большой – свыше 16 000 км; 5) по трудоёмкости и продолжительности устранения (сложность восстановления); 6) по влиянию на потери рабочего времени (устранение отказа во время ТО или в другое время).

Исправное состояние (исправность) – состояние объекта, при котором он удовлетворяет хотя бы одному из требований НТД.

Работоспособность – состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих его способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям НТД.

Неработоспособность – когда значения хотя бы одного параметра не соответствуют требованиям НТД.

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

Наработка – продолжительность или объём выполненной работы. Она выражается в километрах, часах, циклах, тоннах, кубических метрах и т. д. (для деталей двигателя внутреннего сгорания (ДВС) наземных ТС – в ч (мото-ч), для трансмиссии – в км). Различают суточную наработку, месячную наработку, наработку до первого отказа, наработку между отказами и др.

Ресурс – наработка с момента ввода объекта в эксплуатацию до его предельного состояния. Различают назначенный, текущий и остаточный ресурсы.

Срок службы – календарная продолжительность объекта с момента ввода в эксплуатацию до его предельного состояния, включая его хранение и транспортирование в заданных условиях, в течение и после которых сохраняется его исправность и все свойства надежности.

Надежность автомобиля, как и любого объекта, не остается постоянной в течение всего срока службы. По мере изнашивания деталей, накопления в них необратимых процессов увеличивается вероятность появления неисправности и отказа. Новые автомобили имеют более высокую надежность по сравнению с автомобилями с большим пробегом или после капитального ремонта.

На практике специалисты часто используют термин «эффективность». Это емкое слово характеризует действенность объекта. Эффективность использования АТС зависит от его качества.

Качество – совокупность свойств, определяющих степень пригодности АТС и (или) его агрегатов (узлов, деталей) к выполнению заданных функций при использовании по назначению. Как и надежность, качество не остается постоянным и изменяется во времени и пространстве. Качество АТС определяется комплексом эксплуатационных свойств: надежностью, топливной экономичностью, экологичностью, безопасностью, простотой управления, скоростью движения, комфортностью и рядом других. Технически исправное АТС должно обладать определенным уровнем эксплуатационных качеств. Однако по различным причинам АТС теряет некоторые из них, в результате чего в конечном итоге снижается его работоспособность, и оно становится опасным для среды обитания.

2. ПРИЧИНЫ СНИЖЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

2.1. Общие сведения

За весь жизненный цикл АТС претерпевают различные внешние и внутренние воздействия, обусловленные работой самих систем, случайными факторами технической эксплуатации, приводящими к изменению параметров технического состояния вплоть до разрушения деталей как сборочных единиц.

Сложные технические системы, такие как автомобиль, состоят из совокупности механических, пневмогидравлических, электрических и т. п. устройств, отказы которых могут происходить в основном по следующим причинам:

- 1) износ и нарушение условий трения;
- 2) недостаточная прочность;
- 3) недопустимые деформации;
- 4) старение и коррозия материалов;
- 5) нарушение регулировок и центровок;
- 6) нарушение крепления и соединения отдельных деталей и целых агрегатов;
- 7) непредусмотренные контакты и соприкосновения отдельных деталей;
- 8) неправильное назначение допусков и т. п.

Анализ основных причин, снижающих работоспособность сборочных единиц, весьма важен для улучшения их конструкции и технологии изготовления, для разработки более эффективных мероприятий по недопущению отказов, а также для обоснования приемлемых условий эксплуатации АТС.

Изнашивание представляет собой чрезвычайно сложный процесс, в результате которого изменяется форма и уменьшается масса из-за превращения части поверхностей сопряженных деталей в металлическую стружку или пыль вследствие трения между ними.

Различают несколько видов трения: трение покоя (трение двух тел при микросмещениях); трение движения, скольжения и качения, трение со смазкой; трение без смазки (сухое); полусухое, жидкостное, полужидкостное. В механизмах АТС могут иметь место сразу несколько видов трения.

Износ и нарушение условий трения являются причиной отказа механических устройств во многих случаях.

Несмотря на то что основные последствия изнашивания и нарушения условий трения легко обнаруживаются, при анализе отказов вследствие износа и установлении первопричины могут появиться свои трудности.

Очень часто встречается такое явление, как схватывание при трении с последующим переносом материала с одной детали на другую. Кроме того, существуют понятия заедания, задирания, царапания, отслаивания, выкрашивания, приработки.

Основными показателями износов и износостойкости сборочных единиц являются скорость и интенсивность изнашивания. Под скоростью изнашивания понимают отношение величины износа ко времени изнашивания. Она может измеряться в мкм/ч, мг/ч и др.

Интенсивность изнашивания I есть отношение величины износа детали АТС к ее наработке. Она измеряется в мкм/1000 км пробега АТС или на 100 ч работы самой детали. На повышение интенсивности изнашивания детали могут оказывать влияние вибрационные нагрузки машины. Такой характер изнашивания называют *ложным бринеллированием*.

Под *удельной скоростью изнашивания* понимают отношение скорости изнашивания детали к мощности машины. Она измеряется в мг/кВт·ч. Величина, обратная удельной скорости изнашивания, называется *удельной износостойкостью* материала.

Износостойкость во многом предопределяет работоспособность АТС. Она существенно зависит от скоростного и нагрузочного режимов работы машины, которые при эксплуатации изменяются в самых широких пределах, носящих случайный характер.

Оценка работоспособности АТС в этом случае может быть представлена закономерностями из теории вероятности.

Наиболее опасным и весьма прогрессивным видом изнашивания является абразивное.

Абразивное механическое изнашивание – это процесс износа при попадании в зону трения посторонних частиц с размерами, превосходящими толщину масляного слоя между трущимися поверхностями. В зависимости от соотношения твердости металла H_M и твердости абразива H_A абразивный износ проявляется в виде микрорезания или в виде интенсивного питтинга (рис. 2.1).

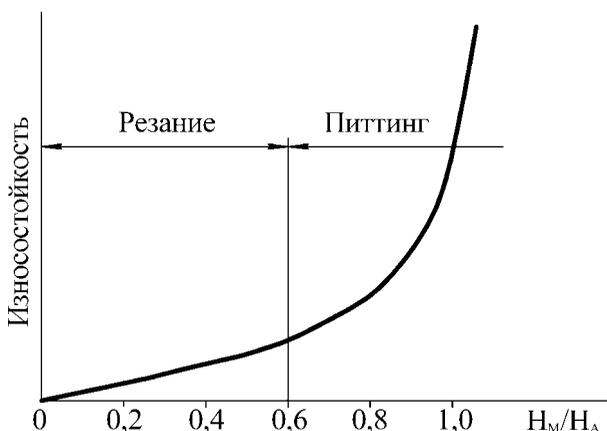


Рис. 2.1. Абразивное изнашивание

Скорость абразивного изнашивания τ_A пропорциональна концентрации абразива и выражается линейной зависимостью

$$\tau_A = \tau_0 + \tau_{1A}c \text{ (в пределах } 0-0,6 H_M/H_A),$$

где τ_0 – скорость изнашивания на чистом масле; τ_{1A} – скорость абразивного изнашивания при единичной концентрации; c – концентрация абразива в процентах.

В основе объективных факторов, интенсифицирующих механическое изнашивание, лежат *пластические деформации*,

представляющие собой перемещения поверхностных слоев материала детали в направлении скольжения под действием значительных нагрузок. При этом происходит изменение размера деталей без потери их массы.

Пластические деформации и *разрушения* являются следствием низкой износостойкости материала детали, его высоких пределов *текучести* (для стали) или *прочности* (для чугуна). Образуется вязкий или хрупкий излом соответственно.

Процесс изнашивания при хрупком разрушении детали заключается в следующем. В результате трения сопряженных деталей поверхностный слой одной из них становится хрупким и разрушается. Находящийся под этим слоем материал детали обнажается и подвергается другим видам изнашивания. Такой процесс характерен для износа беговой дорожки подшипников качения.

Этот вид разрушений в своем большинстве связан как с ошибками на стадии проектирования, так и при нарушении правил технической эксплуатации машины. Случается, что пластическим деформациям и разрушениям предшествует коррозионно-механическое изнашивание, что приводит к изменению структуры материала и геометрических размеров сопряженных деталей.

Недопустимые деформации механической конструкции могут быть связаны с силовыми и термическими воздействиями.

Недопустимые деформации могут происходить при длительных температурных нагрузках, в результате чего в металлических деталях наблюдается явление *ползучести*.

Нередко к деформациям приводит процесс изменения геометрии детали за счет ползучести материала, возникающей под действием остаточных после ее изготовления внутренних напряжений. Он носит название *релаксации напряжений*.

Пластические деформации могут привести к статическим и усталостным разрушениям.

Статические разрушения происходят или из-за превышения расчетного уровня действующей на деталь нагрузки, или из-за дефектов материала. В первом случае изломы (которые в зави-

симости от материала могут быть пластичными или хрупкими) могут вызываться как однократной перегрузкой, так и длительным статическим нагружением. Во втором случае допускаемые напряжения снижаются по сравнению с расчетными из-за дефектов, например: при плавке и литье (неметаллические включения, раковины, структурная и химическая неоднородность), при обработке давлением (расслоение, волосовины), при термообработке (перегрев и трещины при закалке).

Усталостные разрушения (питтинг) возникают под действием на деталь циклической нагрузки с меняющейся частотой в режиме, когда она превышает предел выносливости материала. В этой связи при работе механизма постепенно накапливаются и растут усталостные трещины, а при определенном количестве циклов нагружения происходит разрушение сборочных единиц механизма. Благодаря современным методам расчета при проектировании и новейшим технологиям изготовления сборочных единиц, а также технологиям сборки автомобилей усталостные разрушения циклически нагруженных деталей (рессоры, полуоси) в реальных условиях эксплуатации АТС значительно сократились.

Причинами статического и усталостного разрушения деталей и материалов являются и расчетные ошибки, и производственно-технологические недоработки, и качество эксплуатации (на основании изложенного материала студент должен самостоятельно привести примеры этих разрушений).

В процессе приработки новых механизмов наряду с механическим трением происходит молекулярное сцепление материалов сопряженных поверхностей, что приводит к *молекулярно-механическому изнашиванию*. Оно, в свою очередь, приводит к задирам, заклиниванию и разрушению механизмов. Следствием такого процесса изнашивания является разрыв масляной пленки между трущимися поверхностями, сильный нагрев деталей и их сваривание.

Коррозионно-механическое изнашивание происходит в результате механического воздействия твердых частиц (абразива)