

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Брянский государственный аграрный университет»

Кафедра Технологии материалов, надежности,
ремонта машин и оборудования

Кузюр В.М.

НАДЕЖНОСТЬ И РЕМОНТ МАШИН (РАЗДЕЛ 1)

*Курс лекций для студентов, обучающихся по направлению
подготовки 35.03.06. «Агроинженерия»
профиль «Технические системы в агробизнесе»*

Брянская область
2017

УДК 631.3-192(07)

ББК 30.14

К 89

Кузюр В.М. **Надежность и ремонт машин (раздел I):** курс лекций по дисциплине для студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.03.06. «Агроинженерия» профиль «Технические системы в агробизнесе» / В.М. Кузюр.- Брянск: Издательство Брянский ГАУ, 2017. – 60 с.

В конспекте лекций содержатся сведения по содержанию и основным задачам дисциплины, по оценке надежности машин, разработке и осуществлению мероприятий по ее повышению, изучению основ теории надежности машин, оборудования и технических систем; способов повышения доремонтного и послеремонтного уровней надежности.

Рецензент: кандидат экономических наук, доцент, зав. кафедрой Технических систем в агробизнесе, природообустройстве и дорожном строительстве Гринь А.М.

Методическое указание рассмотрено и рекомендовано к изданию методическим советом инженерно-технологического института, протокол № 7 от 22 мая 2017 года.

© Брянский ГАУ, 2017

© Кузюр В.М., 2017

РАЗДЕЛ 1. НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

Лекция 1

ПОНЯТИЕ О КАЧЕСТВЕ И НАДЕЖНОСТИ

Вопросы лекции

1. Понятие о качестве объекта. Группы показателей качества.
2. Надежность и ее свойства.
3. Показатели надежности.

Понятие о качестве объекта.

Группы показателей качества

Эксплуатация - термин, рекомендуемый для применения к объектам или изделиям, у которых в процессе использования расходуется ресурс.

Потребление - это расход продуктов и изделий в процессе их использования.

Качество - совокупность свойств объекта, обуславливающих его пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением.

Применительно к сельскохозяйственной технике, упомянутая в определении совокупность свойств включает 10 групп показателей качества (рис. 1).

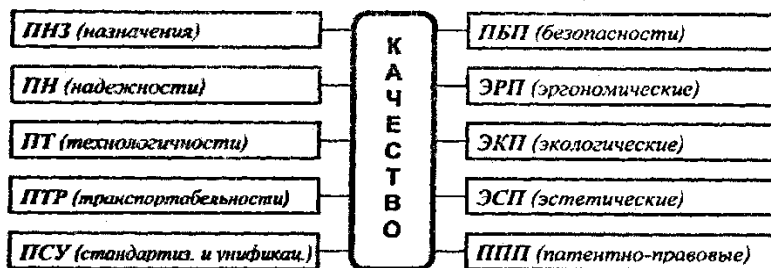


Рис. 1 Группы показателей качества

ПНЗ (показатели назначения) - характеризуют свойства объекта, определяющие основные функции, для выполнения которых он предназначен (производительность, мощность, к.п.д. и др.)

ПН (показатели надежности) — характеризуют свойства объекта сохранять и восстанавливать его работоспособность в процессе эксплуатации (безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость).

ПТ (показатели технологичности) — характеризуют приспособленность конструкции к ее изготовлению и эксплуатации.

ПТР (показатели транспортабельности) — характеризуют приспособленность объекта к транспортированию, не сопровождающемуся его использованием по прямому назначению (перевозка по ж. д. и т.д.).

ПСУ (показатели стандартизации и унификации) - характеризуют насыщенность объекта стандартными, унифицированными и оригинальными частями, а также уровень унификации с другими изделиями.

ПБП (показатели безопасности) — характеризуют особенности конструкции объекта, обуславливающие безопасность обслуживающего персонала при его эксплуатации.

ЭРП (эргономические показатели) - характеризуют не отдельный объект, а систему человек-машина с точки зрения удобства и комфорта эксплуатации конкретного изделия.

ЭКП (экологические показатели) - характеризуют еще более сложную систему человек-машина-среда с точки зрения уровня вредных воздействий на природу, в т.ч. в процессе эксплуатации машины.

ЭС (эстетические показатели) — характеризуют рациональность формы, целостность композиции и совершенство производственного исполнения изделия.

ППП (патентно-правовые показатели) — характеризуют степень обновления технических решений, использованных в конкретном объекте, их патентную зашиту» а также возможность беспрепятственной реализации изделия за рубежом. Основные из них - патентная защита и патентная чистота.

Уровень качества по перечисленным показателям контролируют путем сравнения значений показателей качества оцениваемой продукции с базовыми значениями соответствующих показателей, определяемых техническими требованиями на ремонт или новых машин.

Кроме сравнения значений показателей при оценке уровня качества отремонтированных изделий допускается использование показателя дефектности отремонтированных изделий. Этот показатель характеризуется коэффициентом дефектности продукции и его определяют как среднее взвешенное число дефектов, приходящихся на единицу продукции, т.е.:

$$K_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a m_i \zeta_i, \quad (1.1)$$

где n — число единиц изделий (выборка);

a — число видов дефектов;

m_i — число дефектов данного вида;

ζ_i — коэффициент весомости каждого дефекта, определяемый экспериментальным путем или по стоимости устранения дефекта данного вида.

Надежности и ее свойства

Важнейший показатель качества машины - ее надежность.

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

Надежность - это комплексное или, как выражаются, интегральное свойство объекта. Оно обуславливается его безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью и сохраняемостью. Таким образом, надежность характеризуется свойствами, которые проявляются в эксплуатации и позволяют судить о том, насколько изделие оправдывает надежды его изготовителей и потребителей.

Свойства надежности.

Безотказность — это свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки. Этим свойством обладает объект как в период его использования, так и в период хранения и транспортирования. Это свойство особенно важно для машин, отказ в работе которых связан с опасностью для жизни людей или с перерывами в работе большого комплекса машин, с остановкой автоматизированного производства или браком дорогого изделия.

Долговечность — это свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов. Для неремонтируемых изделий свойства безотказности и долговечности практически совпадают, так как их предельным состоянием является первый отказ. Ремонтруемое изделие после отказа может быть восстановлено, если это экономически целесообразно.

Ремонтпригодность - свойство объекта, заключающееся в приспособивности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, *овреждений и поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов.* От ремонтпригодности зависит трудоемкость технического обслуживания и ремонта, а также размер убытков из-за простоев машины в связи с проведением этих работ.

Сохраняемость — свойство объекта сохранять зна-

чения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение и после хранения и транспортирования. Сохраняемость объекта характеризует его способность противостоять отрицательному влиянию условий хранения и транспортирования на безотказность и долговечность. Роль этого свойства особенно велика для сельскохозяйственной техники, работающей сезонно. Например, комбайны КТО 50% времени находятся в состоянии хранения. Поэтому для них определяющим будет способность противостоять коррозии, воздействию окружающей среды, старению и деформациям, а также сохранение стабильности регулировок. Комбайны зерноуборочные и силосоуборочные работают только 10% времени, остальное - хранение. В связи с этим сохраняемость можно рассматривать как безотказность в режиме хранения.

Показатели надежности

Поскольку надежность включает в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость, то для каждого из этих свойств имеются свои количественные характеристики, которые называют *единичными показателями надежности*.

Единичные показатели безотказности: вероятность безотказной работы; средняя наработка до отказа; параметр потока отказов; интенсивность отказов.

Единичные показатели долговечности: технический ресурс; доремонтный ресурс (до КР); межремонтный ресурс; полный ресурс (до списания); средний ресурс.

Единичные показатели ремонтпригодности: среднее время восстановления работоспособного состояния; вероятность восстановления работоспособного состояния.

Единичные показатели сохраняемости: средний срок сохраняемости.

Комплексные показатели надежности: коэффициент

готовности; коэффициент оперативной готовности; коэффициент технического использования

Имеются также **комплексные показатели надежности**, относящиеся к нескольким свойствам, составляющим надежность.

Показатели надежности подразделяют также на расчетные, экспериментальные, экстраполированные, а также групповые и индивидуальные.

Расчетный показатель надежности - показатель, значения которого определяется расчетным методом.

Экспериментальный показатель надежности - показатель, точечная или интервальная оценка которого определяется по данным эксплуатации.

Экстраполированный показатель надежности - показатель надежности, точечную или интервальную оценку которого определяют на основании результатов расчетов, испытаний и (или) эксплуатационных данных путем экстраполирования на другую продолжительность эксплуатации и другие условия эксплуатации.

Групповой показатель надежности служит для оценки надежности совокупности изделий данного типа (вида, марки, модели).

Индивидуальный показатель предназначен для оценки надежности каждого изделия данного типа.

Лекция 2

ИЗНАШИВАНИЕ КАК ФАКТОР ВЛИЯЮЩИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

Вопросы лекции:

1. Понятие об изнашивании.
2. Классификация видов изнашивания и их характеристика.
3. Закономерности изнашивания деталей и факторы, влияющие на интенсивность изнашивания деталей.
4. Основные направления формирования износостойких структур деталей машин.

Понятие об изнашивании

Как уже отмечалось, основная причина выхода из строя изделий — отказ вследствие износа деталей, возникающего при различных видах трения сопряженных поверхностей.

Износ деталей - результат их изнашивания, определяемый в установленных единицах (в единицах длины, объема, массы и др.).

Изнашивание — процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела и (или) накопления его остаточной деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела (*ГОСТ 23.002-78*).

Трение и изнашивание - это две стороны одного и того же явления - взаимодействия соприкасающихся поверхностей под действием сжимающей нагрузки в момент их относительного перемещения в плоскости касания. Трение включает в себя силовую характеристику, а изнашивание - характеристику разрушения поверхности под действием силы трения.

Основные характеристики процесса изнашивания следующие.

Скорость изнашивания — отношение значения износа к интервалу времени, в течение которого он возник. Различают мгновенную (в определённый момент времени) и среднюю скорость изнашивания (за определённый интервал времени).

Интенсивность изнашивания - отношение значения износа к обусловленному пути, на котором происходило изнашивание, или к объёму выполненной работы.

Износостойкость — свойство материалов оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения, оцениваемой величиной, обратной скорости изнашивания или его интенсивности.

Относительная износостойкость — свойство материалов, характеризуемое отношением интенсивности изнашивания одного материала к интенсивности изнашивания другого при изнашивании в одинаковых условиях (обычно один из материалов принимается за эталон).

Классификация видов изнашивания и их характеристика

Процесс изнашивания чрезвычайно сложен и многообразен, что обусловлено характером и условием трения, а также физико-механическими свойствами трущихся тел. ПОЭТОМУ классификация видов изнашивания может осуществляться по разным признакам. В соответствии с ГОСТ 23.002-78 установлены **три основных вида изнашивания**: *механическое, молекулярно-механическое и коррозионно-механическое*. В свою очередь, каждый из этих видов делится на несколько подвидов (рис. 2).

Молекулярно-механическое изнашивание вызывается одновременным воздействием молекулярных и механических сил. Его характерными признаками являются схватывания, задиры, а также перенос частичек металла с одной из сопрягаемых поверхностей на другую.



Рис. 2 Классификация видов изнашивания деталей машин

К наиболее изученной разновидности молекулярно-механического изнашивания относится **схватывание** - явление местного соединения двух твердых тел, происходящего вследствие действия молекулярных сил при трении. Необходимым условием для схватывания металлов является непосредственный контакт чистых, так называемых «ювенильных» поверхностей, возникающий в процессе совместного пластического деформирования. В результате схватывания происходит местное сваривание деталей, нарушается подвижность соединения, т.е. происходит заедание. При значительных усилиях происходит разрушение возникшей связи с глубинным вырыванием материала, образованием задиrow. Характерным примером этого вида изнашивания является схватывание шеек коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания с вкладышами при нарушении пода-

чи смазки. В результате этого часто проворачиваются вкладыши в своих постелях.

Более сложной разновидностью молекулярно-механического *изнашивания* является адгезионное, состоящее в схватывании микронеровностей поверхностей трения, разрушении мест схватывания с отделением *частиц* металла и в последующем новым схватывании этих частиц с поверхностным слоем металла. В результате этого также образуются натирсы и задиры поверхностей, перенос частичек металла с одной поверхности на другую.

При трении скольжения с большими скоростями относительного перемещения и значительными удельными давлениями, обуславливающими *высокий* градиент, термическую пластичность и интенсивный рост температуры в поверхностных слоях металлов, интенсифицируются процессы схватывания, происходит, так называемое **тепловое изнашивание**. Такого рода изнашивание проявляется в виде задиристых стенок цилиндров, на стержнях и направляющих втулках клапанов, тарелках толкателей, кулачках и опорных шейках распределительных валов.

Механическое изнашивание разделяется на абразивное, гидро-газоабразивное, гидро-газообразивное, электроэрозионное, усталостное, водородное, кавитационное.

Абразивное изнашивание в машинах возникает в результате действия абразивной среды на поверхности трения. Абразивные частицы, попавшие из окружающей среды на поверхности трения или являющиеся продуктами износа, имеют высокую твердость. Происходящие в этом случае процессы похожи на явления резания металлов. Абразивному изнашиванию подвержены детали, работающие в абразивной среде (ходовая часть гусеничных тракторов, рабочие органы почвообрабатывающих машин и др.).

Абразивное изнашивание в большинстве случаев сопровождает работу ряда деталей автотракторных двигате-

лей. В этом случае между трущимися поверхностями деталей неизбежно оказываются абразивные частицы, поступающие вместе с загрязненным воздухом, или смазочным материалом, или топливом и продуктами износа. Эти частицы, имеющие большую твердость, чем поверхности трения, начинают нарушать слой смазочного материала, пластически деформируют одну или обе поверхности, образуя на них различной глубины и ширины риски, царапины и даже участки выкрашивания. Абразивное изнашивание является доминирующим для гильз цилиндров, поршневых колец, поршней, подшипников скольжения.

Гидро-газоабразивное изнашивание вызывается абразивными частицами, перемещающимися потоком жидкости или газа. Этому виду изнашивания подвержены детали водяных, масляных и топливных насосов, гидроусилителей, гидрориводов, тормозных и других систем.

Гидро-газоэрозивное изнашивание - представляет собой механическое изнашивание в результате воздействия потока жидкости или газа, отделяющего с поверхности деталей частицы металла. Такому изнашиванию подвергаются головки поршней, рабочие поверхности выпускных клапанов и их седла, шлицы вторичного вала коробки передач и др.

Электроэрозионное изнашивание - эрозионное разрушение поверхности электропроводящих материалов в результате воздействия искровых разрядов при прохождении электрического тока. Электроэрозионному изнашиванию подвергаются электроды свечей, контакты электрических приборов (прерыватели, магнето, распределители, реле-регуляторы е.др.), а также щетки и коллекторы генераторов и стартеров.

Усталостное изнашивание происходит под действием периодических переменных, нагрузок. Его характерным признаком является возникновение микротрещин и выкрашивания, именуемого питтингом. Механизм его проявляет-

ся в том, что в результате повторного деформирования микрообъемов материала вначале на поверхности трения образуются усталостные трещины. Попадающая в них смазка способствует расклиниванию и выкрашиванию частиц металла. Этот вид изнашивания является типичным для элементов подшипников качения, зубчатых колес, кулачков и толкателей и им подобных деталей по условиям работы. Зачастую ему подвергаются вкладыши подшипников коленчатого вала.

Водородное изнашивание - это разрушение поверхностного слоя вследствие расширения (микровзрыва) поглощенного металлом водорода, находящегося или выделяющегося в зоне трения деталей. Этому изнашиванию подвержены гильзы цилиндров, тормозные барабаны и др.

Кавитационное изнашивание вызывается гидравлическими микроударами, образующимися при относительном перемещении жидкости и твердого тела. При этом образующиеся в движущейся жидкости пузырьки газа, (пара) захлопываются вблизи поверхности, что создает местное повышение давлений и температуры, вследствие чего образуются каверны, язвы и сплошная перфорация детали. Этому виду изнашивания подвержены поверхности цилиндров и водяных рубашек, лопастей водяных насосов и другие детали.

Коррозионно-механическое изнашивание. Ему подвержены поверхности, непосредственно вступающие в химическое взаимодействие с окружающей средой. К коррозионно-механическому относится, механическое изнашивание, усиленное явлениями коррозии. Его подразделяют на окислительное изнашивание, изнашивание в условиях агрессивного действия внешней среды и изнашивание при фреттинг-коррозии.

Окислительное изнашивание характеризуется разрушением и удалением мельчайших твердых частиц металла и его хрупких окислов вследствие проникновения кислорода

воздуха к трущимся поверхностям. Оно происходит при одновременно протекающих процессах: микропластической деформации поверхностных слоев и диффузии кислорода в деформируемые объемы металла. Кислород вступает во взаимодействие с металлом и на поверхности образуется окисная пленка, защищающая поверхность трения от непосредственного контакта. Такие окисные пленки при достаточной их прочности препятствуют возникновению схватывания металлов. При трении, однако, окисные пленки постепенно истираются, но впоследствии образуются вновь, что делает процесс возобновления окисных пленок непрерывным. Данному виду изнашивания подвержены гильзы цилиндров, поршневые кольца, пальцы, шейки коленчатого вала и другие детали.

Изнашивание в условиях агрессивного действия внешней среды характерно для деталей машин, работающих с удобрениями, ядохимикатами, кислотами и щелочами и другими химически активными элементами. Механизм его аналогичен окислительному, изнашиванию, однако образуются не окислы, а соли, которые механически, удаляются при трении. Этому виду изнашивания также подвержены гильзы цилиндров и поршневые кольца под влиянием соединений серы, находящихся в моторном масле и дизельном топливе.

Изнашивание при фреттинг-коррозии возникает в случае трения скольжения с очень малыми возвратно-поступательными перемещениями в условиях динамической нагрузки. Такое движение может быть вызвано вибрациями. При трении в этих условиях создаются мелкие окисные пленки, отделяющиеся с поверхностей, которые не удаляются за пределы контакта и создают условия абразивного изнашивания. Фреттинг-коррозия встречается в соединениях корпусных деталей, например, в местах прилегания фланцев блока цилиндров и картера сцепления. Этому из-

нашиванию подвергаются посадочные поверхности подшипников качения и шестерен, болтовые и заклепочные соединения рам и другие детали.

Закономерности изнашивания деталей и факторы, влияющие на интенсивность изнашивания деталей

Работа деталей в машине сопровождается неизбежным и непрерывным во времени процессом изнашивания трущихся поверхностей. Этот процесс представляют в виде так называемой «классической кривой износа» (рис. 3).

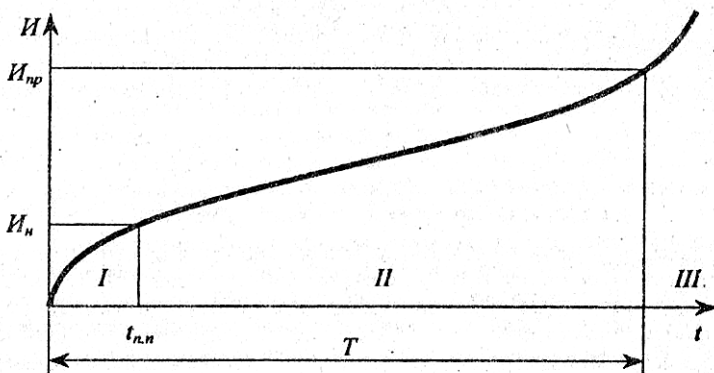


Рис. 3 «Классическая» кривая износа детали

Процесс изнашивания деталей машин разделяют на три периода. Первый период (участок I) называется *периодом полной приработки*. В течение этого периода происходит микро- и макрогеометрическая приработка поверхностей трения деталей и в некоторой степени стабилизируются показатели их технического состояния. Для большинства современных автотракторных двигателей полная приработка по времени соответствует примерно 1,5...2,5% всей их наработки до капитального ремонта.

Полная приработка подразделяется на начальную и завершающую. На начальном этапе происходит скол вершин микровыступов и сглаживание шероховатостей на контактирующих микровыступах поверхностей трения деталей и, таким образом, несколько возрастает площадь их фактического контакта (для двигателей этот период соответствует заводской технологической обкатке). На завершающем этапе приработки происходят процессы перераспределения остаточных напряжений (например, в блоках двигателей), осуществляется постепенное выравнивание макропогрешностей формы поверхностей, трения, устанавливается их оптимальная микрогеометрия и наступает относительная стабилизация зазоров в сопряжениях трущихся пар (он соответствует эксплуатационной обкатке).

Второй период (участок II), именуемый периодом нормального эксплуатационного изнашивания, также можно подразделить на два этапа: стабильное изнашивание, характеризующееся сравнительным постоянством скорости изнашивания, и умеренно-ускоряющееся изнашивание, при котором скорость изнашивания постепенно возрастает. Второй период наиболее длителен по времени и по существу именно он характеризует долговечность машины.

Третий период (участок III), характеризующий наступление катастрофического, прогрессирующего или предельного изнашивания, при условии правильной эксплуатации весьма непродолжителен. Его наступление свидетельствует о необходимости капитального ремонта машины, поскольку зачастую ее дальнейшая эксплуатация становится нерентабельной и даже недопустимой из-за опасности аварийной поломки. Таким образом, начало третьего периода свидетельствует о наступлении предельного состояния машины.

Предельным состоянием называется такое состояние машины или ее элементов, при котором их дальнейшая экс-

плуатация должна быть прекращена вследствие выхода заданных характеристик работоспособности за допустимые без ремонта пределы, достижения деталями предельной величины износа, возникновения ресурсного отказа и необходимости проведения ремонта.

Предельным износом (зазором) называется такой, при котором наступает предельное состояние детали или сопряжения, их дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена, во избежание аварийной поломки или резкого ухудшения технических или экономических характеристик машины (агрегата). Нарботка от начала эксплуатации и до предельного состояния называется полным ресурсом детали или сопряжения.

Допустимым износом (зазором) называется такой, при котором остаточный ресурс детали или сопряжения равен межремонтному ресурсу машины в целом или ее отдельного агрегата.

Факторы, влияющие на интенсивность изнашивания деталей машин

Износ деталей машин зависит от большого числа факторов, воздействующих с разной силой и в разных направлениях не только, на ход изнашивания и его конечные результаты, но и на характер и степень влияния каждого фактора в отдельности. При изучении изнашивания приходится учитывать различные по природе, но тесно взаимодействующие один с другим процессы, протекающие на макро- и микроуровнях.

При трении скольжения интенсивность изнашивания зависит от материала сопрягаемых деталей, нагрузки или давления, скорости относительного перемещения поверхностей, температурного режима, формы и размера поверхности трения, количества и качества смазочного материала, присутствия абразивных частиц и ряда других факторов и параметров.

В условиях эксплуатации скорость изнашивания деталей, а следовательно, их износ зависят не столько от нагрузки, сколько от большого количества изменяющихся во времени эксплуатационных факторов, особенно таких, как силовой и температурный режимы работы машины, количество и длительность ее пусковых периодов, почвенно-климатические условия ее работы (засоренность и температура окружающего воздуха, рельеф и конфигурация полей и т.д.), качество эксплуатации и технического обслуживания и др. Каждый из перечисленных факторов может оказать значительное влияние на скорость изнашивания деталей, но так как периодичность и длительность их проявления носят случайный характер, контролировать и учитывать эти факторы практически невозможно. В связи с этим очевидно, что скорости изнашивания одних и тех же деталей у разных машин различны и могут иметь значительное рассеивание. Кроме того, вследствие приведенных выше причин предельные износы (зазоры), обуславливающие предельное состояние деталей (сопряжений), также рассеиваются в сравнительно широких границах.

Основные направления формирования износостойких структур деталей машин

Основная причина потери работоспособности машин - эрозия (износ и коррозия) деталей, которую можно резко снизить упрочнив поверхности трения и повысив объемную прочность материалов.

Объемная прочность, а в известной мере и поверхностная, металлов и сплавов в настоящее время достигается созданием бездефектной структуры; повышением прочности барьеров (в том числе и дислокаций), затрудняющих движение дислокаций; созданием и применением композиционных материалов.

Все применяемые в настоящее время методы упрочнения металлов: ППД - поверхностное пластическое дефор-

мирование (холодный наклеп), легирование (создание различных сплавов), термическая ТО, термомеханическая ТМО и электромеханическая ЭМО обработки и другие основаны на принципе торможения движения дислокаций.

Высокая прочность может быть достигнута не только путем повышения плотности несовершенств кристаллического строения (прежде всего дислокаций), но и созданием композиционных материалов. Применение этих материалов, сочетающих, свойства сравнительно мягкой матрицы и прочных высокомодульных волокон, дающих под нагрузкой малую деформацию, позволяет повысить удельную прочность материала на 20...40%.

Рассмотренные способы упрочнения деталей машин полностью относятся к объемной прочности и лишь частично к поверхностной (в частности, для случая абразивного и усталостного изнашивания). Механизмы объемного и поверхностного разрушения, как правило, различны. Если при объемном нагружении сопротивление разрушению оказывают все зерна и субзерна, и очень важно, чтобы не было концентраторов напряжений на поверхности детали, то при поверхностном нагружении, то есть нагружении трением, концентраторы напряжения в ряде случаев влияния не оказывают. В данном случае определяющим является внутреннее строение микрообъемов поверхностного слоя, то есть как ориентированы атомные плоскости к воспринимаемой поверхностью детали нагрузке, какая при этом активность поверхностного слоя к физическому тепловому и химическому полям, какая зависимость поверхностной прочности материала от природы и прочности межатомных связей решетки сплава.

Скорость изнашивания находится в обратной зависимости от качества поверхностного слоя детали. Качество этого слоя находится в прямой зависимости от химической природы металла и его микро- и субмикроструктуры. Последние

определяются законами симметрии. (Теория симметрии - фундаментальное учение в объяснении зависимости между происхождением и строением, с одной стороны, и свойствами, с другой стороны, материалов, применяемых для изготовления деталей машин).

Известно, что строение отдельных металлов и сплавов определяется их химическим составом. Физико-механические и химические свойства деталей зависят от структуры на микроуровне. Симметрия «управляет» структурой и свойствами материала. Таким образом, действительно выступает следующий комплекс явлений, подлежащий самому глубокому исследованию:

1) механические, физические и химические свойства, оказывающие сопротивление разрушению материала деталей при их нагружении;

2) внешняя и внутренняя структура (строение) материала деталей;

3) химический состав материала деталей

Изучая этот комплекс, можно постичь сущность процессов различных видов эрозионного разрушения материалов, с тем чтобы управлять созданием практической безызносности поверхностей трения, деталей машин.

Схему создания высоконадежной техники по показателям поверхностной прочности можно представить следующим образом. Машина, как известно, состоит из деталей и пар трения, а также из деталей неподвижных сопряжений. Таким образом, в данном случае необходимо разрешить триединую проблему: нагружение деталей и пар трения - разрушение их - нет разрушения (прочность). Для решения этой проблемы в каждом отдельном случае необходимо уточнить параметры прикладываемых физических и химических полей, их характер *и* условия. Зная это, далее необходимо сконструировать *и* создать (построить) необходимую структуру поверхностей трения. Строение же металлов

и сплавов на всех структурных уровнях (макро- и микро-) определяется химической природой материала и законами симметрии. Макростроение деталей определяется, способом формообразования и видом отделочной технологий. Далее макроструктура материала деталей определяется способом производства его; микроструктура определяется способом упрочняющей технологии; субмикроструктура (субзерна, блоки, домены) также определяются способом упрочняющей технологии, и прочность этой структуры прежде всего зависит от размера субзерен и угла их разориентации. Наконец, идет решетка, с определенным пространственным расположением ромов и видов связи между ними (ионной, ковалентной, металлической, вандерваальсовой). Атомные решетки также могут быть различной степени бездефектного строения. Все это необходимо учитывать, управляя созданием безызносных структур.

Для различных условий службы деталей и пар трений могут быть применены следующие способы создания практически безызносной структуры (строения) металлов и сплавов.

1. Создание объемной бездефектной структуры, т. е. нитевидных кристаллов.
2. Измельчение зерна до размеров $0,1—0,01$ мкм.
3. Повышение плотности дефектов кристаллического строения до значений $10^{11} \dots 10^{13} \text{ см}^{-2}$.
4. Измельчение зерна и равномерное распределение укатанной плотности дислокаций.
5. Применение самосмазывающихся композитов из системы «металл полимер».
6. Применение дисперсно-упрочненных композитов.
7. Перевод поверхностного слоя с решетчатого (кристаллического) строения в аморфное.
8. Плакирование поверхностей трения конденсированным слоем интерметаллидных, соединений.

9. Плакирование поверхностей трения бездефектными структурами.

10. Получение поверхностного слоя с принципиально новым строением, с изменением геометрии, и плотности упаковки атомов и их связи в решетке металла.

Последний способ может быть, осуществлен подобно тому, как получают искусственные алмазы, т. е. применением сверхвысоких давлений и температур, в том числе и с отводок тепла для получения метастабильного состояния металл. В этом случае возникает принципиально новая связь атомов в кристаллической решетке, обеспечивающая значительно большую прочность.

Лекция 3

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ

Вопросы лекции:

1. Показатели надежности как случайные величины.
2. Основные положения теории вероятностей.
3. Распределение случайной величины. Числовые характеристики случайной величины.

Показатели надежности как случайные величины

Надежная работа сельскохозяйственной техники зависит от объективных и субъективных факторов, которые часто находятся в сложной взаимозависимости.

Объективные факторы - воздействия окружающей среды (температура, влажность) и разных процессов (износа, старения, усталости, нагрузки и др.).

Субъективные факторы - те факторы, которые в первую очередь зависят от действий человека: конструкторские решения при проектировании машины, выбора режимов нормальной эксплуатации, организации системы технического обслуживания и ремонта машины.

В результате эксплуатации в различных климатических, дорожных и других условиях сельскохозяйственная техника подвергается не только переменным, но и случайным воздействиям. Зависимость надежности от многочисленных и разнообразных факторов приводит к тому, что появление отказов, а также изменение характеристик надежности носят случайный, стохастический (беспорядочный) характер. Поэтому для анализа и контроля надежности используется теория вероятностей и математическая статистика.

Оценка надежности объектов при помощи математических методов на основании обобщения накопленной статистической информации об их работе в

реальных условиях эксплуатации позволяет выявлять вероятностные закономерности и соотношения между случайными факторами, в различной мере влияющими на работоспособность, безотказность и долговечность объектов. Методы исследований надежности основаны на том, что отказ - случайное событие и для его предупреждения необходимо знать физические причины и закономерности его возникновения. Теория вероятностей позволяет изучать массовые явления, т.е. повторяющиеся при многократных испытаниях.

Испытание (опыт) - это практическое создание определенных условий, влияющих на некоторые физические явления. Испытание сопровождается регистрацией результата. Опыт не обязательно должен быть поставлен человеком, он может произойти независимо от него. От человека зависит только решения о наблюдении и те параметры, которые фиксируются.

Событие - это явление, происходящее в результате выполнения определенного комплекса условий, т.е. в результате испытания (опыта). Оно является качественным результатом испытания.

События подразделяются на достоверные, возможные (случайные), совместные, несовместные, единственно возможные, равновозможные, зависимые и независимые.

Достоверным называется событие, которое в результате денного испытания обязательно произойдет (например, появлении негодной детали в партии забракованных).

Возможным или случайным называют такое событие, которое в процессе испытания может произойти, а может и не произойти (например, появление бракованной детали в партии деталей, изготовленных неустановившемся технологическом процессе). Появление отказов при определенной наработке - случайное событие.

Невозможным называют событие, если в результате испытания оно произойти не может (появление годной детали в партии негодных).

Совместными называют два события, если при испытании появление одного из них не исключает появления другого (например, когда, при контроле бракованной детали проходная и непроходная стороны калибра, «проскакивают»).

Несовместными называют два такие события, когда появление одного из них исключает возможности появления другого, (например, при контроле годной детали проходная и непроходная стороны калибра, не могут идти «на проход»).

Единственно возможными называют события, когда, при испытании произойдет хотя бы одно из них (например, при контроле деталей единственно возможными событиями будут появление годных и бракованных деталей).

Равновозможными называют несколько возможных событий, появившихся в процессе испытания, и при этом нет основания предполагать, что появление одних возможно появления других (например, при извлечении из партии деталей, содержащей, десять пронумерованных бракованных, возможно появление бракованной детали с любым номером).

Независимыми считаются такие события, если появление одних не исключает вероятность появления других (например, независимый отказ).

Полной группой называют количество не совместных событий с которых при одном испытании проявиться хотя бы одно. В случае, когда полная группа складывается из двух событий, такие события называются **противоположными**.

Событие противоположное данному A , обозначается \bar{A} . Для полной группы событий достаточно иметь два несовместных события A и \bar{A} . Пример противоположных

событий - запуск или не запуск двигателя.

Случайная величина - это такая величина, которая в результате опыта может принимать различные значения в определенных пределах. Она может быть непрерывной и дискретной.

Непрерывная случайная величина - такая, которая в некотором интервале может принимать любое значение (например, скорость изнашивания деталей, уровень зерна в бункере комбайна, время безотказной работы объекта и др.).

Дискретная случайная величина - это величина, принимающая только отдельные определенные значения, которые можно заранее перечислить (например, число отказов, возникающих в течение какого-либо интервала времени, число неисправных объектов в партии, и т.д.).

Понятие случайной величины связано с понятием распределения. Для, *полной* характеристики случайной величины вместе с ее возможными значениями следует знать, насколько часто она эти значения принимает, чтобы привести распределения случайной величины.

Основные положения теории вероятностей

Вероятностью события называется отношение числа случаев, благоприятствующих наступлению данного события, ко всему числу несовместных, единственно возможных и равновозможных вариантов. Она численно характеризует возможность появления (или не появления) события (отказа).

Вероятность события всегда есть рациональная правильная дробь

$0 < P(A) < 1$ или в процентах или в процентах $0 < P(A) < 100\%$.

Различают математическую (теоретическую) и экспериментальную (статистическую) вероятности.

Математическая вероятность события — отношение количества случаев, которые приводят к

появлению данного события к общему количеству всех возможных событий.

Математическая вероятность события А определяется формулой;

$$P(A) = \frac{M}{N},$$

где $P(A)$ – математическая вероятность события А;

М – число случаев, благоприятствующих наступлению событий А;

Н - общее число всех возможных событий при испытании (несовместных, вероятных и равновозможных).

Вероятность достоверного события равно единице, невозможного - нулю.

При решении технических задач имеют дело не с достоверными и практическими событиями, а с вероятными и практически невозможными событиями.

Вероятным называют событие, вероятность которого близка к единице, практически невозможным - событие, вероятность которого равна нулю. Данные события в одном опыте (или опробовании) всегда сопровождают друг друга.

При испытании машины на надежность определить математическую вероятность значения показателя надежности сельскохозяйственной техники практически невозможно, поэтому ограничиваются определением статистической вероятностью.

Статистической вероятностью события (отказа) называют отношение количества случаев появления события к общему количеству проведенных испытаний.

Статистическая вероятность определяется формулой:

$$W(A) = \frac{m}{n} \text{ или } W(A) = \frac{m}{n} \cdot 100\%$$

где $P(A)$ – вероятность события A ;

m - количество произошедших событий A ;

n - общее количество проведенных опытов.

Пример:

При испытании 56 тракторов в течение 2000 мото-ч проявилось 5 отказов двигателя и 4 отказа коробок передач (КП). Какая статистическая вероятность отказа коробки передач и двигателя за период испытаний.

Рассуждения. Количество появления событий (отказов) КП $m = 4$; общее количество испытаний объектов $n=50$.

Тогда подставив значения в формулу, определяем $W(A)$:

$$W_{КП} = \frac{4}{50} = 0,08 \text{ или } 8\% \text{ (коробка передач);}$$

$$W_{дв} = \frac{5}{50} = 0,1 \text{ или } 10\% \text{ (двигатель).}$$

Статистическая вероятность отказа коробки передач трактора на 2000 мото-ч 0,08 или 8%, а двигателя $5/50 = 0,10$ или 10%.

Формулы сложения вероятностей.

Для несовместных событий

$$P(A_1 + A_2 + \dots + A_n) = P(A_1) + P(A_2) + \dots + P(A_n)$$

где $P(A_1 + A_2 + \dots + A_n)$ – вероятность появления событий A_1 или A_2 или A_n несовместимых событий;

$P(A_1), P(A_2), P(A_n)$ – вероятности событий A_1, A_2, A_n соответственно.

Для двух совместных событий:

$$P(A + B) = P(A) + P(B) - P(AB),$$

где AB – совместные события A и B ;

$P(A + B)$ - вероятность появления события A или события B ;

$P(A)$, $P(B)$ - вероятность появления события A или B , соответственно;

$P(AB)$ – вероятность совместного появления события A и B .

Пример:

В результате испытаний установлено, что вероятность отказа ножного тормоза автомобиля на 100 тыс. км пробега $P(A) = 0,05$, а вероятность отказа ручного тормоза - $P(B) = 0,01$. Определить вероятность отказа тормозной системы автомобиля $P_{\text{тор}}$.

Рассуждения. Поскольку отказ ножного и ручного тормоза может происходить одновременно, т. е. событие одновременны, то для определения отказа тормозной системы в целом можно воспользоваться формулой и определяем

$$P_{\text{тор}} = P(A+B) = 0,05 + 0,01 - 0,05 \cdot 0,01 = 0,0595.$$

Умножение вероятностей.

Вероятность совместного наступления нескольких независимых событий равна произведению вероятностей этих событий, т. е.

$$P(A_1 A_2 \dots A_n) = P(A_1) P(A_2) \dots P(A_n),$$

где $P(A_1 A_2 \dots A_n)$ – вероятность совместного проявления событий $A_1, A_2 \dots A_n$ соответственно;

Пример:

Вероятность безотказной работы коробки передач тракторе составила $P(A_1) = 0,8$, а двигателя - $P(A_2) = 0,75$. Определить вероятность безотказной работы трактора $P_{тр}$,

Рассуждения. При рассмотрении безотказной работы коробки передач и двигателя как независимых друг от друга событий, определяем вероятность безоотказной работы трактора по формуле:

$$P_{тр} = P(A_1)P(A_2) = 0,8 \cdot 0,75 = 0,6.$$

Вероятность – это объективная математическая оценка возможности реализации случайного события или случайной величины.

Распределение случайной величины.

Числовые характеристики случайной величины

Различают эмпирическое и теоретическое распределение. В эмпирических распределениях возможные значения случайных величин оцениваются статистическими вероятностями (относительными частотами), полученными в результате испытаний, у теоретических - математическими вероятностями, определенными согласно обратной математической модели распределения – теоретическому закону.

Основные характеристики надежности имеют значительный разброс, т.е. они случайные величины, а поэтому при многократном повторении они подчиняются определенным статистически устойчивым законам распределения случайной величины.

Закон распределения случайной величины - это всякое соотношение, устанавливающее связь между возможными значениями случайных величин и соответствующими этим значениям вероятностями или частотами (частностями).

X	x_1	x_2	x_3	...	x_n
P	P_1	P_2	P_3		P_n

Если значения дискретной случайной величины представить в виде таблицы, то такое распределение называют **рядом распределения случайной величины**. В первой строке, этой таблицы указаны все значения x_i дискретной случайной величины X , а во второй строке - вероятности P_i , соответствующие этим значениям. Сумма всех вероятностей равна единице.

С целью наглядности ряд распределения случайной величины изображают графически. По оси абсцисс откладывают возможные значения случайной величины, а по оси ординат - вероятности этих значений. Соединив точки отрезками прямых получают фигуру, которая называется **многоугольником (полигоном) распределения**.

Для непрерывной случайной величины такую характеристику построить нельзя, так как она имеет бесчисленное множество возможных значений, заполняющих некоторый промежуток.

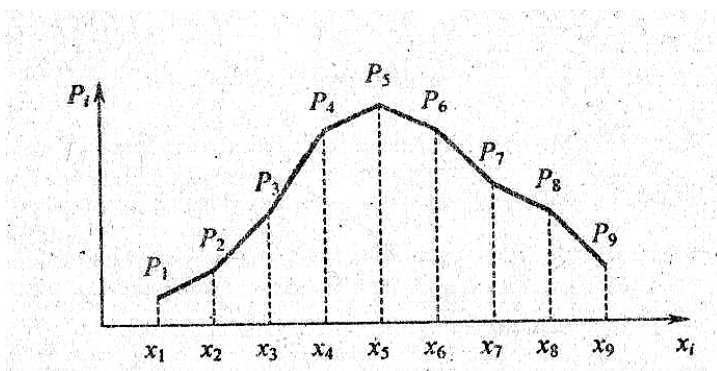


Рис. 4 Полигон распределения случайной величины

В данном случае удобно пользоваться не вероятностью события $P(X = x_i)$, а вероятностью события $P(X < x_i)$. Это означает вероятность того, что случайная величина X примет значение, меньшее какого-либо наперед выбранного значения x_i , где $-\infty < x < +\infty$. Вероятность такого события, зависящая от x , есть некоторая функция от x , которая называется функцией распределения случайной величины X и обозначается $F(x)$, т.е.:

$$F(x) = P(X < x).$$

Эту функцию называют также интегральной функцией распределения или интегральным законом распределения. Она является наиболее универсальной характеристикой как дискретных (прерывных), так и непрерывных случайных величин. Для дискретной случайной величины функция распределения будет иметь вид:

$$F(x) = P(X < x_i).$$

График этой функции будет иметь вид ступенчатой кривой (рис. 5):

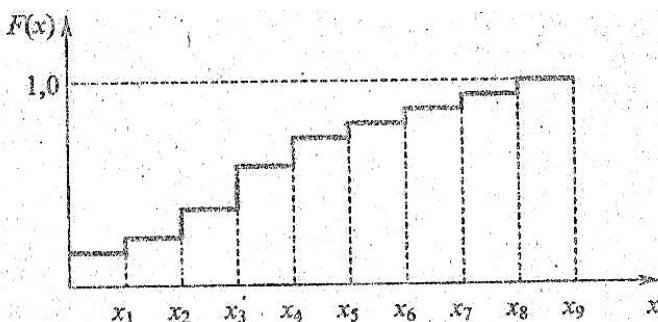


Рис. 5 Функция распределения дискретной случайной величины

Функция распределения непрерывной случайной величины, изображается плавной кривой (рис. 6). При любом значении x :

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx}.$$

Интегральная функция распределения случайной величины имеет тот недостаток, что по ней трудно судить о характере, распределения случайной величины в небольшой окрестности той или иной точки на числовой оси. Это можно сделать, пользуясь особой функцией, которая называется плотностью распределения вероятности или просто плотностью распределения. Плотность распределения непрерывной случайной величины - это производная от функции распределения непрерывной случайной величины:

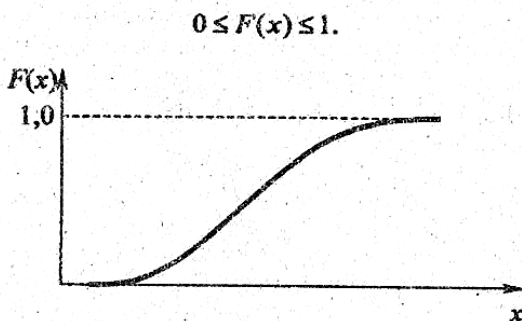


Рис. 6 Интегральная функция распределения непрерывной случайной величины

Для дискретной величины функция плотности распределения не существует.

Графически плотность распределения представляет собой кривую распределения непрерывных случайных величин (рис. 7):

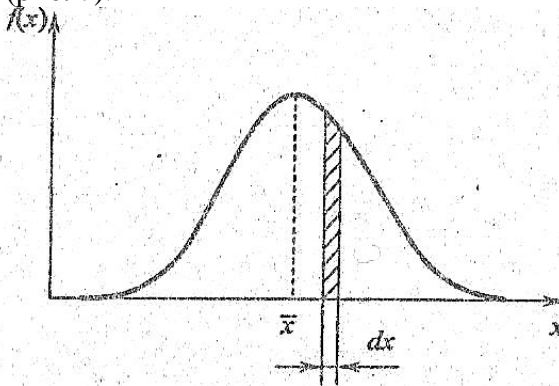


Рис. 7 Кривая плотности распределения непрерывной случайной величины

Площадь элементарного прямоугольника, равную произведению $f(x)dx$, называют элементом вероятности.

Для определения вероятности, $P(X < x)$ необходимо вычислить площадь, заключенную между кривой и осью абсцисс в интервале от $-\infty$ до x , т.е.:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx.$$

Плотность распределения характеризуется следующими основными свойствами:

- она неотрицательная функция от x вследствие того, что $F(x)$ - неубывающая функция;
- площадь, ограниченная кривой $F(x)$ и осью абсцисс (интеграл от плотности распределения в бесконечных пределах), равна единице, т. е.:

$$\int_a^b f(x)dx = 1.$$

В практических исследованиях случайные величины обычно характеризуют вероятностью того, что случайная величина не выходит за пределы заданных значений (рис.. 8):

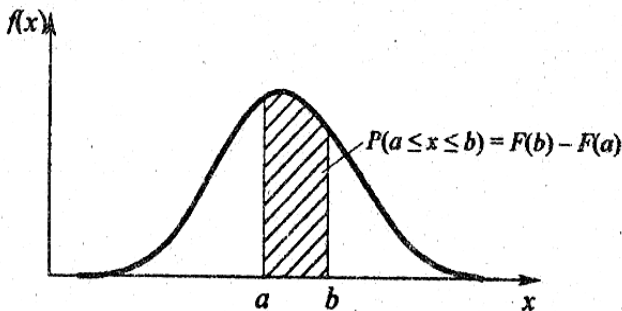


Рис. 8 Вероятность попадания случайной величины в интервал (a, b)

В таких случаях сохраняется формула, которая связывает дифференциальную и интегральную функции:

$$P(a \leq x \leq b) = \int_a^b f(x)dx = F(b) - F(a).$$

При решении практических задач не всегда необходимо полное и подчас весьма сложное описание случайной величины в виде функции распределения. Зачастую достаточно знать ее основные числовые характеристики, выражающие наиболее существенные особенности распределения, такие как математическое ожидание, дисперсия, среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации.

Математическое ожидание дискретной случайной величины подсчитывается по формуле:

$$M(X) = \sum_{i=1}^n x_i P_i,$$

т.е. оно равно сумме парных произведений возможных значений случайной величины x , на соответствующие им вероятности P_i . Для непрерывной случайной величины

$$M(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} x dF(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx.$$

Математическое ожидание характеризует центр группирования значений случайной величины.

$$D(X) = \sum_{i=1}^n [x_i - M(X)]^2 P_i.$$

Дисперсия $D(X)$ характеризует степень рассеивания случайной величины от своего математического ожидания. Для дискретной случайной величины:

Если непрерывная случайная величина задана функцией плотности вероятности $f(x)$, то дисперсия вычисляется по формуле

$$D(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} [x - M(X)]^2 f(x) dx.$$

Дисперсия имеет размерность квадрата случайной величины. Чтобы привести к однозначности случайную величину и дисперсию, из последней извлекают квадратный корень. Полученная величина называется средним квадратическим отклонением или «стандартом»:

$$\sigma(X) = \sqrt{D(X)}.$$

При обработке результатов испытаний (опытов) может возникнуть необходимость сравнивать различные распределения, а также рассеивание разнородных величин. Дисперсия и среднее квадратическое отклонение для этих целей использованы быть не могут, так как величины будут иметь разную размерность. В качестве отвлеченной меры рассеивания, не зависящей от единиц измерения сравниваемых величин, принимается **коэффициент вариации** или **изменчивости** v :

$$v = \frac{\sigma(X)}{M(X)}.$$

Он показывает насколько велико рассеивание по сравнению со средним значением случайной величины (математическим ожиданием). Тот из рядов распределения имеет большее рассеивание, у которого больше коэффициент вариации.

Лекция 4

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Вопросы лекции

1. Общие сведения об направлениях повышения надежности.
2. Конструкторские методы повышения надежности.
3. Технологические методы повышения надежности.
4. Эксплуатационные методы повышения надежности.
5. Ремонтные методы повышения надежности отремонтированных машин.

Общие сведения об направлениях повышения надежности

Методы к возможности по повышению надежности машин весьма разнообразны и связаны со всеми этапами конструирования, изготовления и эксплуатации машин.

Конструкторские методы связаны с выбором или изменением параметров изделия, размеров, формы и материала детали, нагрузки, удельного давления, скорости скольжения, условий смазки и др.

Технологические методы связаны с различными методами обработки деталей, изменением свойств поверхностного слоя и др.

Эксплуатационный методы связаны с рациональным использованием, правильным техническим обслуживанием и диагностикой машин.

На каждом из перечисленных этапов возникают проблемные задачи по повышению надежности изделий, общая направленность которых сводится к следующему - исходя из требований сельскохозяйственного производства

создать надежные машины, обеспечить заложенную при проектировании надежность при изготовлении и сохранить достигнутую надежность при хранении и эксплуатации.

Конструкторские методы повышения надежности

Конструкторские методы сводятся, в основном к выполнению следующих требований:

1. *Упрощение конструктивной схемы машины, уменьшение числа составляющих ее элементов.*

Выполнение этого требования позволит свести к минимуму влияние производственных погрешностей и эксплуатационных условий на надежность изделия. Очевидно, что более надежными будут объекты, имеющие принципиально простые конструктивные схемы и решения, выполненные из материалов с хорошо проверенными в эксплуатации свойствами.

2. *Замена элементов, лимитирующих надежность машины, более надежными.*

3. *Выбор долговечных материалов деталей и рациональных их сочетаний в сопряжениях (на этом требовании мы остановимся далее более подробно).*

4. *Обеспечение функциональной избыточности элементов машины повышением запасов прочности и эксплуатационных свойств деталей.*

Внезапные отказы при эксплуатации с.-х. машин возникают, в основном, в результате превышения предельно допустимых нагрузок. Уровень безотказности в этом случае определяется соотношением наиболее вероятной (типичной) максимальной нагрузки на деталь и предельно допустимой расчетной нагрузки. Поэтому увеличение запаса прочности элементов машины являются одним из путей повышения ее безотказности. Запас прочности может быть повышен увеличением размеров деталей или подбором материалов с более высокими

пределами прочности и другими механическими характеристиками. Повышений запаса прочности деталей увеличением их размеров в современных условиях борьбы за понижение материалоемкости конструкций не перспективен. Более предпочтительно снижение нагруженности деталей путем рационализации формы и параметров их рабочих поверхностей.

Для предохранения ответственных деталей машин от поломок при перегрузках в конструкциях предусматривают установку предохранительных муфт, штифтов и других элементов.

5. Защита элементов машины от разрушающих действий окружающей среды.

Здесь характерны такие методы, как установка машин на фундаменты, защита поверхностей от запыления и загрязнения, создание для машин специальных условий и применение защитных покрытий.

То есть стремятся создать более благоприятные условия для работы машины (где это возможно). Например, цеха с постоянной температурой и влажностью и строгой регламентацией запыленности атмосферы не только повышает надежность выпускаемой в этих условиях продукции, но и повышают надежность работы оборудования, выпускающего эту продукцию.

Применение различного рода виброизолирующих и амортизационных устройств предотвращает воздействие нагрузок, не допускает воздействия на изделие частот ультразвукового спектра, значительно повышающих интенсивность износа сопряжений.

Различные экраны и теплостойкие покрытия защищают изделия или их элементы от тепловых излучений или солнечной радиации.

Применяются различные устройства для защиты от влаги и агрессивных сред, механизмы и фильтры

очищающие масло, воздух, топливо. Они создают благоприятные условия для работы машин и повышают их надежность.

Однако возможности по изоляции машины от внешних воздействий среды достаточно ограничены, в особенности это касается сельскохозяйственной техники. Кроме того, всегда имеются внутренние источники возмущений (вибрации самой машины, тепловыделения в узлах и агрегатах и т.д.), которые трудно изолировать.

б. Установка различных датчиков и автоматических контрольно- измерительных устройств, сигнализирующих об изменении технического состояния и о возникновении отказов основных элементов машины.

Установка таких устройств позволяет предвидеть во многих случаях отказ того или иного элемента и своевременно принять меры для восстановления его работоспособности. В результате обеспечивается не только минимум простоев, связанных с устранением отказов, но к предотвращаются поломки и неисправности, вызванные отказом.

По данным иностранных фирм, в результате введения в авиацию систем автоматического контроля межремонтный сроки увеличились в 1,5 раза, а вероятность отказа в полете снизилась в 10 раз.

Поэтому это требование к конструкции машин в перспективе превратится в мощное средство для решения проблем надежности - применение автоматических устройств для обеспечения длительного выполнения машиной СВОЕГО служебного назначения в разнообразных условиях эксплуатации:

То есть создание самонастраивающихся и саморегулируемых машин, которые подобно живым организмам обладают функциями приспособления к изменившимся условиям работы и восстановления

утраченной работоспособности. Комбайн ДОН-1500 имеет электронное устройство для автоматического контроля за рабочими органами и ответственными узлами машины со световой сигнализацией.

Применение принципа саморегулирования, при котором машина при помощи специальных устройств автоматически восстанавливает утраченные функции и реагирует на внешние возмущения, являются перспективным при создании сложных изделий.

На практике оно находит применение в некоторых станках-автоматах и других устройствах. Например: система сигнализации о появлении трещин в лопастях вертолета, падение давление масла в системе, уровня тормозной жидкости в тормозной системе.

7. Повышение уровня ремонтпригодности машин более рациональной компоновкой ее элементов, обеспечивающей свободный доступ к наиболее ненадежным сборочным единицам.

8. Обеспечение благоприятных условий работы деталей и смазки трущихся поверхностей.

Интенсивность изнашивания большинства сопряжений зависит от температуры трущихся поверхностей и условий смазки. Поэтому стремятся снижать температуру в узлах трения за счет специальных систем охлаждения, (например цилиндры двигателя и др.) улучшением теплообмена с окружающей средой (за счет повышения Поверхности теплоотдачи введением ребер, пластин и изменением формы теплоотдающей поверхности, изменения теплоизолирующих прорезей; охлаждения системы смазки).

Условия смазки улучшают применением современных и высококачественных смазочных материалов с присадками, улучшением формы трущихся поверхностей и применением, где это возможно, смазки под давлением. В

частности у современных двигателей все основные сопряжения, лимитирующие его долговечность, смазываются под давлением.

Подачу смазки под давлением начинают применять и в узлах трения трансмиссий, наиболее ответственные детали, которых переводят с консистентных смазок на жидкостную смазку.

Применение систем смазки под давлением в свою очередь требует создания эффективных устройств для ее очистки (полнопоточные масляные центрифуги, магнитные пробки в картерах, фильтры в картерах трансмиссий и другие элементы).

9. Введение системы бездефектного проектирования для предотвращения ошибок при разработке конструкторской документации.

10. Организация при конструкторских бюро заводов-изготовителей служб надежности, контролирующей уровень надежности изделий и разрабатывающих рекомендации по повышению долговечности и безотказности машин.

11. Выбор материалов, обладающих достаточной износостойкостью, является весьма сложной задачей, так как она зависит не только от свойств сопряженных материалов, но и от условий работы сопряжения, так как в одних условиях данная пара материалов будет износостойкой, в других - нет.

Рассмотрим основные требования, предъявляемые к материалам трения:

материалы должны гарантировать, что при заданных условиях трения на поверхности трения не возникнут недопустимые виды изнашивания (например изнашивание при заедании). Для остальных допустимых видов изнашивания материалы должны обеспечивать минимальную интенсивность изнашивания;

материалы помимо их высокой износостойкости должны обладать высокими антифрикционными свойствами (легкая прирабатываемость, низкий коэффициент трения при нормальных условиях работы, стабильность коэффициента трения при изменении скорости скольжения в условиях смазки;

материалы должны обладать высокой теплопроводностью, низким коэффициентом теплового расширения, хорошей смачиваемостью смазкой;

для полимерных материалов дополнительно необходимо: обеспечение теплостойкости, низкое влагопоглощение, отсутствие холодотекучести, отсутствие деформации в смазочной среде;

материалы должны обладать хорошими технологическими свойствами (обрабатываемостью, способностью к формоизменению).

Выбор материала значительно облегчается, если известны законы изнашивания сопряжения и основные факторы, влияющие на скорость изнашивания. Однако до настоящего времени таких зависимостей, устанавливающих непосредственную связь между интенсивностью износа и свойствами материала, изучено очень мало. Поэтому на практике, получили распространение различные правила и рекомендации, обеспечивающие для определенных материалов и условий работы хорошие показатели износостойкости или гарантирующие невозможность возникновения недопустимых форм износа:

необходимо сочетать твердый материал с мягким, имеющим температуру рекристаллизации ниже средней температуры поверхности трения. Пластичный материал, не наклеываясь при работе сопряжения, обладает положительным градиентом механических свойств во глубине. Такое сочетание металлов хорошо противостоит заеданию и обладает высокой надежностью;

сочетать твердый материал с твердым. Такие трущиеся пары обладают высокой износостойкостью, вследствие малого взаимного внедрения их поверхностей. Эти пары требуют нанесения приработочных покрытий, для повышения их надежности в период приработки. Однако они требуют также высокой точности изготовления и сборки, жесткости конструкции и обеспечение хороших условий смазки;

следует избегать пар трения из однородных металлов, особенно в условиях несовершенной *смет*, так как подобные пары обладают легкой схватываемостью. В тех случаях, когда этого невозможно избежать, то необходимо, чтобы их твердость отличалась не меньше чем на 10 единиц по Бринелю;

при применении антифрикционных подшипниковых сплавов применяется правило Шарли, которое заключается в том, что эти сплавы должны иметь структуру, состоящую из твердых включений в пластичной матрице (типичный представитель - баббиты). Это обеспечивает хорошую прирабатываемость и высокую несущую способность;

применять в труднодоступных для смазывания конструкциях пористые металлокерамические материалы и антифрикционные сплавы, обеспечивающих самосмазывание за счет капилляров, образовавшихся между частицами;

применять в качестве антифрикционных и фрикционных материалов пластические массы. В ряде случаев они повышают надежность и срок службы узлов, уменьшают массу, расход цветных металлов, снижают шум и вибрацию машин;

использовать материалы, при работе которых на поверхностях трения образуются защитные окисные пленки (окислительное изнашивание) или пленки из структурных составляющих цветных металлов (избирательный перенос).

Выбор износостойких материалов для Пар трения невозможно рассматривать в отрыве от условий смазки поверхностей. Чем надежнее смазка смачивает поверхность трения, тем большую роль в обеспечении износостойкости играют ее свойства. Поэтому при конструкции пар трения необходимо применять специальные методы нанесения рельефа на поверхность трения (например, виброобкатывание поверхностей деталей, с помощью которого создается рельеф, благоприятствующий удержанию смазки), а также специальные структуры материалов, способные удерживать и сохранять смазку, полученные методом порошковой металлургии, газотермическим напылением, электролитическим путем (пористое хромирование).

Следует остановиться на принципе расположения материалов по твердости в парах трения.

В паре трения, образованной скользящими поверхностями, имеющими разные твердости и размеры площадей трения, можно отметить два случая:

1) $H_1 > H_2$ и $S_1 < S_2$,

2) $H_1 < H_2$ и $S_1 < S_2$,

где H_1 и H_2 - твердость одной и второй трущихся поверхностей;

S_1 и S_2 --площадь трущихся поверхностей.

Пару с расположением материалов, удовлетворяющим первому условию называют прямой парой трения, а удовлетворяющему второму условию - обратной парой.

В случае прямой пары трения по большей поверхности скользит более твердое тело, а в случае обратной пары трения - скользит более мягкое тело.

Например, скольжение закаленного суппорта по чугунной термически необработанной станине является прямой парой или, скажем, скольжение хромированного:

поршневого кольца по цилиндру из перлитного чугуна.

Обратной парой будет хромированной зеркало цилиндра и чугунное поршневое кольцо. Вал и подшипник с антифрикционными сплавом при нагрузке передаваемой вращающимся валом - также обратная пара.

Недостаточная надежность пары трения в связи с расположением материалов может выразиться в явлениях схватывания и заедания. Опыт эксплуатации машин, стендовых и лабораторных испытаний показывает, что обратные пары трения более стойки против заедания, а при наличии заедания имеют меньшее повреждение поверхностей.

Рассмотрим, типовые сочетания материалов для пар трения, получивших наибольшее распространение в конструкциях машин.

Сталь - антифрикционный чугун. Сочетания закаленная сталь - антифрикционный чугун, сталь по стали, чугун по чугуну часто применяется в сельскохозяйственном машиностроении для невысоких скоростей скольжения, а также для таких пар трения: направляющие станков - суппорты, пары трения гидросистем; гильзы цилиндра - поршневые кольца, зубчатые и цепные передачи, диски фрикционных муфт и тормозов, подшипники качения и др.

Металл - полимерный материал. Такое сочетание обычно в паре со сталью или чугуном применяется для зубчатых и червячных передач, подшипников и направляющих скольжения. Конструируя такое сопряжение следует учитывать положительные свойства полимеров (хорошее восприятие ударной нагрузки, технологичность, коррозионную стойкость, антифрикционность), а также отрицательные (низкую жесткость малую теплопроводность и др.).

В настоящее время такие пары трения получили распространение и применяются для менее ответственных

(в смысле точности передачи движения) механизмов, при средних и малых нагрузках и в агрессивных средах. Однако с созданием новых видов полимерных материалов область их применения будет расширяться.

Специальная сталь - абразивная среда. Специальные высоколегированные хромистые, марганцовистые и другие высокопрочные стали применяются для деталей, работающих в контакте с почвой, горной породой - например, лемеха плугов, звенья гусениц тракторов, зубья ковшей экскаваторов, лапы культиваторов, сошники сеялок и другие детали.

Сталь или чугун - фрикционный сплав применяется для тормозных и других устройств, где требуется обеспечение значительного трения на сопряженных поверхностях, используются специальные чугуны и стали с металлическими, асбокаучуковыми, асбосмоляными или металлокерамическими фрикционными материалами.

Для этих материалов требуется в первую очередь высокая теплостойкость, так как при торможении температура на поверхности может достигать 1000 и более градусов.

Сталь - самосмазывающийся материал. Это сочетание применяется для сопряжений типа подшипников скольжения, шарниров и других сопряжений с ограниченными условиями смазки, когда материал должен обеспечивать подачу смазки (жидкой или твердой) за счет своей структуры. Такими материалами являются пористые меченные псевдосплавы, включающие медь, свинец, графит; различные типы пластмасс и металлопластмасс, наполненные графитом, дисульфидом молибдена или другими твердыми смазками. Применяются также покрытия из порошковых материалов, нанесенные газотермическим, плазменным или детонационным напылением.

Конструкторские требования по обеспечению ремонтпригодности машин можно представить в виде следующих критерий:

1. *Конструктивная законченность и достаточно легкая отделимость агрегата машины (коробки передач, двигателя, заднего и переднего моста и т.д.).*

Выполнение этого требования позволяет решать вопросы организации агрегатного метода ремонта.

2. *Конструктивная законченность и достаточно легкая отделимость узлов в агрегатах машины (например, водяной насос, топливный насос и др.),*

3. *Обеспечение конструкторской и технологической доработанности агрегатов в отношении ресурса их деталей и узлов.*

Имеется ввиду обеспечение равноизносостойкости узлов и деталей, чтобы ресурс агрегата равнялся ресурсу узлов и отдельных деталей из которых он состоит. Это требование в общем то никогда не выполняется, однако к этому необходимо стремиться. Хотя бы добиваться того, чтобы ресурсы отдельных деталей были кратны между собой и кратны периодичности ТО и ремонтов, что позволит сократить число ремонтных воздействий за эксплуатационный цикл и простои машин.

4. *Унификация агрегатов, узлов и деталей различных машин.*

Это требование позволит значительно облегчить снабжение запчастями и организацию ремонта и эксплуатации изделий в хозяйствах.

5. *Обеспеченность быстро изнашивающихся сопряжений машин легко- съемными деталями в виде туловок, колец, вкладышей и т.д.*

Эта особенность определяет возможность устранения отказов путем замены быстроизнашивающихся деталей.

6. *Конструкция агрегатов и узлов машины должна*

обеспечивать достаточное удобство при производстве разборочно-сборочных работ.

7. Конструкция регулируемых сопряжений должна обеспечивать необходимые удобства для проведения регулировок и обеспечивать их стабильность.

8. Базовые поверхности деталей не должны подвергаться износу и другим габенеижкм в процессе работы машины.

Технологические методы повышения надежности

В технологическую систему входят оборудование, оснастка, заготовки, детали, изделия, средства контроля и испытаний, конструкторская и технологическая документация, операторы, контролеры и т.д.

Технологические методы обеспечения надежности определяются прежде всего надежностью самой технологической системы.

Цель таких методов - достижение показателей и параметров, заданных конструкторами при проектировании деталей, агрегатов и машин.

К основным технологическим методам относятся следующие:

1. Обеспечение необходимой точности изготовления деталей. С повышением точности изготовления деталей появляется возможность уменьшить начальные зазоры в подвижных соединениях и более жестко регламентировать натяги в неподвижных соединениях, что значительно повышает долговечность таких соединений и машины в целом.

При смещении осей цилиндров двигателя от 0,25 до 0,65 мм интенсивность изнашивания шатунных шеек коленчатого вала возрастает на 90%, поршневых пальцев - на 54%, верхней втулки шатуна в 2 раза, бобышек поршня - на 73%, шатунных вкладышей - на 60%.

2. Обеспечение оптимального качества рабочих поверхностей. На качество поверхности влияют изнашивание, коррозия, статическая и динамическая прочность деталей машин. От исходной шероховатости рабочих поверхностей зависит качество посадки как с зазором, так и с натягом. При значительной шероховатости срезаются микровыступы в процессе запрессовки и ослабевает неподвижная посадка. Повышенная шероховатость также противопоказана для приработки подвижных соединений, так как уменьшается площадь фактического контакта, повышается давление, нарушается режим жидкостной смазки и возникает опасность задиоров.

Однако и чрезмерно гладкая поверхность не всегда нужна, так как на ней не удерживается масляная пленка. Поэтому для большинства деталей установлены оптимальные шероховатости поверхности трения, например, у двигателей типа ЗМЗ: зеркало цилиндра - 0,16...0,40 мкм, поршневой палец - 0,08...0,16, бобышка поршня - 0,20...0,40 мкм и т. д.

3. Повышение износостойкости, статической и циклической прочности деталей термической обработкой. При закалке с нагревом ТВЧ повышается усталостная прочность деталей из стали 45 в 2 раза. Все более широкое распространение находит обработка рабочих поверхностей деталей, лучом лазера. Обработанные таким образом рабочие поверхности кулачков распределительного вала, гильз цилиндров, шеек валов отличаются повышенной прочностью и износостойкостью. При этом не наблюдается коробление деталей.

4. Упрочнение деталей химико-термической обработкой. Наибольшее распространение до упрочнения деталей сельскохозяйственной техники получили азотирование, цементация, нитроцементация и цианирование. У деталей, упрочненных азотированием,

износостойкость в 1,5...4,0 раза выше, чем у деталей, подвергаемых цементации, повышенные коррозионная стойкость и выносливость при циклических нагрузках.

5. Упрочнение деталей поверхностным пластическим деформированием. При поверхностном пластическом деформировании повышается усталостная прочность деталей, работающих при циклических нагрузках, в 1,5...2,0 раза увеличивается твердость рабочих поверхностей и сопротивляемость их изнашиванию и коррозии, снижается шероховатость поверхности.

Рабочие поверхности втулок верхних головок шатунов, гильз цилиндров, отверстий в корпусах задних мостов и коробок передач обрабатывают раскатками и дорнованием. Коленчатые валы двигателей и поворотные цапфы обкатывают шариками и роликами. Пружины, рессоры, зубчатые колеса и шатуны подвергают дробеструйной обработке.

6. Нанесение на рабочие поверхности деталей машин износостойких покрытий. При пористом хромировании поршневых колец ресурс колец и гильз цилиндров увеличивается более чем в 2 раза, при хромировании стержней клапанов ресурс втулка - клапан повышается в 1,5...1,8 раза. После наплавки на тарелку клапана сплава ЗМ16А ресурс клапана увеличивается в 4...10 раз. Благодаря индукционной наплавке рабочих органов сельскохозяйственных машин (лемехов, лап культиваторов) твердыми сплавами ресурс этих деталей повышается в 2...3 раза.

7. Другие методы повышения долговечности деталей: термомеханическое упрочнение; применение кованных заготовок и профилей; изготовление зубчатых колес и шлицевых валов методом обкатывания; установка втулок, колец и вставок из износостойких материалов; проведение искусственного старения чугуновых деталей (блоки цилиндров, головки цилиндров, корпуса задних мостов и

коробок передач); статическая и динамическая балансировка деталей и сборочных единиц; повышение точности сборки и качества окраски агрегатов и машин в целом; контроль качества.

Эксплуатационные методы повышения надежности

Условия эксплуатации машин существенно влияет на показатели их надежности. Для обеспечения высоких показателей долговечности и безотказности машин при эксплуатации необходимы следующие мероприятия.

1. Качественная, обкатка новых и отремонтированных машин в хозяйстве. Ее необходимо проводить в соответствии с рекомендацией заводоизготовителей или ремонтных предприятий.

Производственная обкатка тракторов включает в себя: опробование работы двигателя без нагрузки (15...20 мин.); обкатку трактора без нагрузки (5...7 % по 0,5 ч на каждой передаче); проверку работы гидросистемы (15...20 мин); обкатку трактора на всех передачах с постепенным повышением нагрузки: 15...20% - 7 ч, 30...40% - 14ч, 50...60% - 18 ч и 75% - 14 ч.

По завершении обкатки снимают ограничение мощности и проводят первое техническое обслуживание с заменой смазочных материалов в двигателе и агрегатах трансмиссии и ходовой части.

2. Организация технического обслуживания и создание для его проведения необходимой материальной базы. Высокие показатели надежности машин характерны для хозяйств, использующих жетонную систему учета их наработки, располагающих стационарными пунктами технического обслуживания, звеньями мастеров-наладчиков, применяющих моечное, смазочное, диагностическое и регулировочное оборудование, средства механизации.

3. Проведение периодических технических осмотров машин, способствующих улучшению деятельности инженерно-технических служб хозяйств, хранения машин, повышению уровня эксплуатации и надежности машин. Периодические технические осмотры проводят представители Гостехнадзора и ГАИ один-два раза в год.

4. Соблюдение режимов работы машин. Наиболее высокие удельные нагрузки на детали, плохие условия их смазывания наблюдаются при начальных пусках двигателей и включении агрегатов трансмиссии в холодное время года. Износ во время пуска двигателя при температуре -18°C приравнивается к износу за 210 км пробега автомобиля.

На работу двигателя отрицательно влияет перегрев, при котором наблюдается форсированный износ деталей, особенно цилиндропоршневой группы, газораспределительного и кривошипно-шатунного механизмов. При повышении температуры охлаждающей жидкости до 115°C суммарный износ увеличивается в 1,5 раза по сравнению с износом при нормальном тепловом режиме.

При неустановившихся нагрузках и скоростных режимах работы двигателя по сравнению с установившимися режимами интенсивность изнашивания верхних поршневых колец повышается в 2,5...3,5 раза, поршней - в 1,2...2,5 раза.

5. Соблюдение рекомендаций заводов-изготовителей по применению топлива, масла и смазочных материалов. Применяемое топливо влияет на процесс сгорания, условия смазывания поверхностей трения, интенсивность на газообразование и изнашивания. Так, в процессе использования бензинов с температурой конца кипения $170...180^{\circ}\text{C}$ снижается износ двигателя на 45...48% по сравнению с бензинами, имеющими температуру конца кипения 218°C . Износ деталей дизелей зависит от

цетанового числа дизельного топлива. Так, при его снижении с 68 до 31 увеличивается износ гильз цилиндров двигателя Д-37М почти в 2 раза.

Еще большее влияние на износ деталей и долговечность машин оказывают смазочные материалы.

6. Контроль и обеспечение достаточной герметизации агрегатов и механизмов машин. Во время эксплуатации машин герметизация нарушается вследствие ослабления крепления крышек низкого качества прокладочных материалов, короблений плоскостей разъемов корпусных деталей, износа уплотнительных устройств. Так как во внутренние полости агрегатов из окружающей среды засасывается воздух, содержащий абразивные частицы, то герметизации следует уделять особое внимание. При подсосе 1% не фильтрованного воздуха интенсивность изнашивания верхних поршневых колец увеличивается в 4 раза.

7. Соблюдение установленных правил хранения машин. Высокая сохраняемость сельскохозяйственной техники обеспечивается при наличии специальных помещений, площадок с твердым покрытием, использовании различных подставок и прокладок, своевременной очистке машин от технологических загрязнений и почвы, нанесении защитных смазок, своевременном восстановлении лакокрасочных покрытий, снятии и хранении в закрытых помещениях электрооборудования, приборов и т.д.

8. Повышение уровня квалификации механизаторов и организации выполнения механизированных работ и инженерной службы хозяйства.

Повышение надежности сельскохозяйственной техники при ремонте

К основным направлениям повышения надежности отремонтированных машин относятся следующие:

1. Проведение предремонтного диагностирования а мастерских хозяйств для определения необходимых ремонтных воздействий и разборки соответствующих агрегатов машин. С помощью автоматизированной диагностической системы КИ-13940 для энегронасыщенных тракторов можно измерить 85 параметров технического состояния. При этом прогнозируют техническое состояние и показатели надежности машин.

2. Обеспечение сохраняемости ремонтного фонда, поступающего на ремонтные предприятия, достигается организацией складов и площадок, использованием специальных подставок и прокладок, антикоррозионных смазочных материалов и других средств. При неудовлетворительном хранении ремонтный фонд может быть превращен в металлолом.

3. Выполнение разборочных работ без повреждения деталей и разукomплектовки соответствующих пар. Для исключения повреждения деталей при разборке следует использовать съемники, прессы, стенды и другие средства механизации. Наибольшее распространение получили винтовые и гидравлические съемники. При демонтаже подшипников качения нельзя передавать усилие на кольца через тела качения.

Для сохранения комплектов деталей применяют различные контейнеры. Нельзя разукomплектовывать блоки цилиндров и крышки подшипников коленчатого вала, шатуны и их крышки, пары зубчатых колес конечных и других передач.

4. Выполнение на ремонтных предприятиях качественной очистки машин, агрегатов и деталей от различных загрязнений. Удаление накипи, нагара, асфальтосмолистых и других загрязнений отличается определенными трудностями и требует

использования современного оборудования (например, ультразвукового), новых моющих средств, обеспечения соответствующих режимов очистки.

Только при высококачественной наружной очистке и промывке масляных каналов в блоке и коленчатом вале можно увеличить ресурс двигателя ЯМЗ-240 на 30%.

5. Контроль и дефекция деталей. На ремонтных предприятиях следует расширить номенклатуру деталей, подвергаемых сплошному контролю. Наряду с универсальными измерительными инструментами (микрометрами, индикаторами) следует широко использовать предельные (пробки, калибры, скобы) инструменты и средства пневматического контроля, обеспечивающие повышение точности измерений до 0,01...0,001 мм.

Коленчатые валы, коленчатые оси, поворотные цапфы, блоки, гильзы цилиндров и другие детали проверяют на отсутствие скрытых дефектов методами магнитной, люминесцентной, ультразвуковой дефектоскопии и гидравлической опрессовки.

Блоки цилиндров, корпуса коробок передач и трансмиссий и другие базисные детали требуют сплошного контроля не только размеров, но и геометрии их рабочих поверхностей и точности их взаимного расположения, так как во время эксплуатации у этих деталей в результате старения материала, изнашивания воздействия различных нагрузок и Перераспределения внутренних напряжений изменяются размеры, геометрическая форма и взаимное расположение рабочих поверхностей.

Устранение обнаруженных отклонений обеспечивает высокий ресурс не только самой базовой детали, но и всего агрегата.

6. Введение на ремонтных предприятиях входного контроля запасных частей, так как встречаются случаи несоответствия их размеров, геометрической формы, твердости и других параметров чертежам и техническим

требованиям.

7. *Подбор деталей цилиндропоршневой группы (поршней, шатунов, поршневых колец) по массе.*

8. *Динамическая балансировка коленчатых и карданных валов, сцепления, колес автомобилей и других деталей и сборочных единиц.*

9. Обеспечение регламентированных зазоров и натягов в соединениях, усилий затяжки резьбовых соединений и других требований при сборке агрегатов и машин. Так, зазор между шейкой и вкладышем коленчатого вала двигателя ЯМЗ-240 должен быть 0,056...0,114 мм. Превышение этого зазора при сборке приводит к снижению ресурса двигателя, уменьшение - к задиру вкладышей при обкатке двигателя.

Детали цилиндропоршневой группы двигателей обязательно подбирают по установленным размерным группам. Поршни перед сборкой подогревают до температуры 70...80°C. Перед запрессовкой на валы рекомендуется нагревать и подшипники качения.

10. Обеспечение хорошей герметизации агрегатов сборочных единиц. Для этого заменяют прокладки и сальниковые уплотнений устраняют коробление плоскостей разъемов деталей, восстанавливают резьбовые соединения, используют новые прокладочные материалы типа жидкой прокладки к др.

11. Внедрение стендовой обкатки и испытаний агрегатов машин. Обкатывают под нагрузкой не только двигатели, но и агрегаты трансмиссии, применяют обкаточные масла, и различные присадки.

12. Повышение качества окраски ремонтируемых машин за счет лучшей подготовки окрашиваемых поверхностей, применения эффективных грунтов и эмалей, окраски отдельно агрегатов и машин в сборке, внедрения прогрессивных методов окраски гидродинамическим распылением, а электростатическом поле и др.

Учебное издание

Кузюр Василий Михайлович

НАДЕЖНОСТЬ И РЕМОНТ МАШИН

Методические указания
по курсу лекций (Раздел 1)

Редактор Лебедева Е.М.

Подписано к печати 29.05.2017 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.

Бумага офсетная. Усл. п. л. 3,49. Тираж 25 экз. Изд. № 5311.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ