1. ТЕОРИЯ НАДЕЖНОСТИ КАК ОСНОВА РАСЧЕТА РЕСУРСА МАШИН

Повышение надежности машин всегда являлось одной из важнейших задач машиностроения. Приоритетное значение надежности машин при их проектировании и изготовлении подтверждается статистическими данными, свидетельствующими о том, что расходы на поддержание их в работоспособном состоянии непрерывно растут. Суммарные ежегодные потери народного хозяйства, связанные с обслуживанием и ремонтом технических средств за период эксплуатации, в несколько раз превышают их первоначальную стоимость. Недостаточный уровень надежности машин существенно снижает их производительность из-за простоев в ремонте.

Для современных мобильных энергетических средств характерны такие направления развития, как повышение скорости и интенсивности их движения, грузоподъемности и вместимости, динамичности, мощности, топливной экономичности, безопасности движения и т.д.

Усложнение машин и усиление требований к ним привели к тому, что проблема повышения их эксплуатационной надежности приобрела огромное значение. Ненадежная машина не сможет эффективно функционировать, так как каждый ее отказ влечет за собой значительные материальные потери, а в отдельных случаях может иметь и катастрофические последствия.

Анализ характера и причин отказов базируется на глубоких знаниях физической природы их возникновения и развития, т.е. знаний инженерно-физических основ надежности. Процессы, приводящие к потере машиной работоспособного состояния, включают в себя изнашивание, усталостное разрушение конструкционных материалов, пластические деформации, коррозию, старение.

При эксплуатации мобильных энергетических средств подавляющее большинство деталей достигают предельного состояния из-за износа. В связи с этим выявление физических процессов изнашивания, установление зависимостей физико-механических свойств поверхностного слоя детали от режима ее работы, факторов внешней среды позволяют управлять этим процессом, снижать его интенсивность.

Решение проблемы повышения надежности мобильных энергетических средств требует, прежде всего, наличия достоверной, систематической информации по их отказам и неисправностям, фактическим ресурсам, расходам запасных частей, трудоемкостям обслуживания и ремонта, а также факторам, влияющим на эти показатели в реальных условиях эксплуатации.

Обработка такой информации позволяет оценить уровень фактической надежности той или иной модели машины, агрегата, узла, детали, выявить слабые места в конструкции, разработать конкретные мероприятия по повышению эксплуатационной надежности и ресурса, оптимизации системы поддержания мобильных энергетических средств в работоспособном состоянии.

Обработка информации о надежности осуществляется методами математической статистики по показателям, оценивающим как отдельные свойства надежности (безотказность, долговечность, ремонтопригодность и сохраняемость), так и комплексными показателями, оценивающими несколько ее свойств одновременно.

Условия эксплуатации со временем оказывают влияние на техническое состояние машин. Происходит **механическое изнашивание** трущихся деталей:

- ✓ абразивное,
- ✓ изнашивание при хрупком поверхностном разрушении,
- ✓ адгезионное в результате молекулярного сцепления материалов трущихся деталей,
- ✓ коррозионно-механическое.

В результате механического изнашивания постепенно уменьшаются размеры трущихся деталей, увеличиваются зазоры в соединениях.

Наблюдаются пластические деформации и разрушения деталей, что связано с превышением предела текучести или прочности материалов, или усталостные разрушения от циклического возникновения нагрузок, превышающих предел выносливости.

Вследствие агрессивного воздействия среды происходит коррозионное изнашивание деталей кабины, рамы, деталей крепления и т. п.

Кроме того, проявляются физико-химические и температурные изменения материалов и деталей, т. е. их старение.

Все изменения в техническом состоянии машин проявляется через ***параметры технического состояния*** (различные физические величины, характеризующие работоспособность и исправность машин), а также ***качественные признаки состояния.***

Различают структурные и диагностические параметры, которые можно количественно измерить.

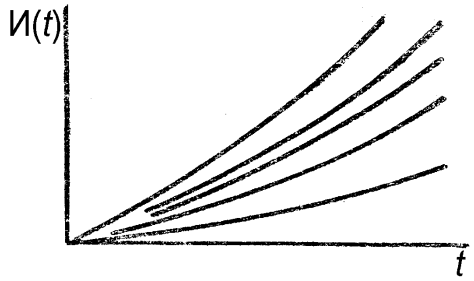
Структурные параметры — износ, размер детали, зазор, натяг в сопряжении, физико-механические свойства материала, выходные и технические характеристики машины и ее составных частей, непосредственно обусловливающие техническое состояние сельскохозяйственных машин.

Диагностические параметры, используемые для определения технического состояния машин (температура, шум, вибрация, степень герметичности, давление, расход масла, параметры движения деталей и др.), в основном косвенно характеризующие структурные параметры машины. В тех случаях, когда структурный параметр определяется в процессе диагностирования прямым измерением, он одновременно выступает как диагностический параметр.

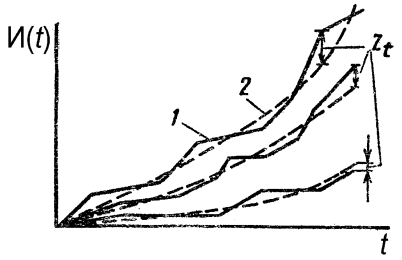
Качественные признаки технического состояния, появляющиеся в результате изнашивания, деформации, разрушения или старения детали, материалов под влиянием условий эксплуатации, обычно проявляются в виде наличия течи масла, охлаждающей жидкости, определенного цвета отработавших газов,

в появлении характерного шума, скрежета, специфического запаха, например горелой резины и т. п. Эти признаки не измеряют, их качественно оценивают.

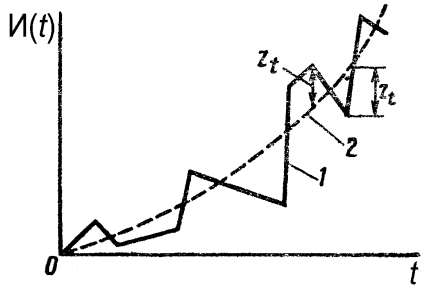
Отклонение структурного параметра состояния машины от номинального значения, в частности износ детали под действием **конструктивных и технологических** факторов, в постоянных эксплуатационных условиях характеризуется плавной монотонно возрастающей прямой, выпуклой или вогнутой кривой).



Отклонение параметра состояния под влиянием **внешних эксплуатационных** факторов происходит уже не по плавной, а по ломаной возрастающей кривой, причем резкое увеличение скорости изменения параметра в отдельные моменты вызвано случайными неблагоприятными условиями (большие нагрузки, запыленность воздуха при пахоте, неправильное регулирование сборочных единиц, недостаточное смазывание и т. д.). С другой стороны, периодам малой скорости изменения параметра соответствуют случайные благоприятные условия работы.



Изменение во времени **диагностического** параметра, косвенно характеризующего отклонение одного или нескольких структурных параметров, также может быть выражено возрастающей кривой. Отличительная особенность ее заключается в относительно больших изломах (рис. 1, в) и, в ряде случаев, немонотонном возрастании. Это объясняется влиянием на диагностический параметр других, не связанных со структурными параметрами факторов, в том числе **погрешностью измерения** диагностического параметра



Работоспособность любой машины теряется из-за появления отказа в составляющих сборочных единицах ее агрегата. Они же выходят из строя из-за отказа какого-либо сопряжения или детали. Таким образом, причиной возникновения отказов у работающих машин является появление тех или иных неисправностей у деталей.

По классификации профессора И. Е. Ульмана, все виды неисправностей различных деталей можно свести к следующим четырем группам:

- ✓ износы;
- ✓ наносы;
- ✓ изменения физико-механических свойств материала деталей;
- ✓ деформации и поломки.

Процесс развития неисправностей первых трех видов протекает постепенно. Развитие этих неисправностей вызывает старение деталей, приводящее в конечном итоге к выходу деталей за предельное состояние, после чего эксплуатация машины должна быть прекращена.

Износы представляют собой наиболее часто встречающуюся группу неисправностей деталей. Изнашивание – процесс постепенного изменения размеров детали при трении, проявляющийся в отделении с поверхности трения материала и его остаточной деформации.

При эксплуатации детали в постоянных условиях скорость ее изнашивания не остается постоянной. Характер протекания процесса изнашивания для этого случая показан на рисунке.

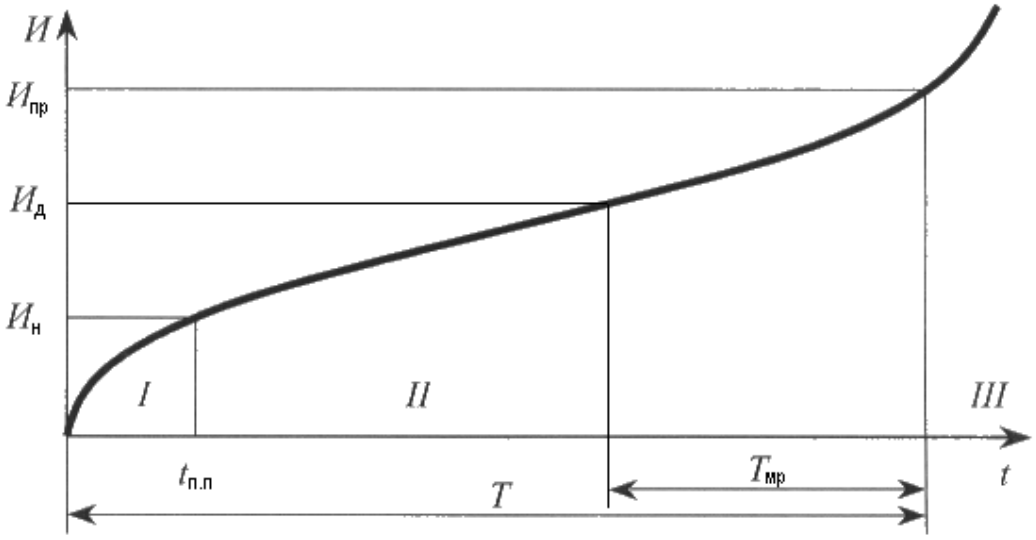


Рис. Наиболее распространенный вид изнашивания детали в постоянных условиях работы: *I* — период приработки; *П* — период нормальной эксплуатации; *III* — период аварийного изнашивания. Износы: $И_н$ — номинальный; $И_д$ — допустимый без ремонта: $И_{пр}$ — предельный;. $T_{мр}$ — плановая межремонтная наработка

В начальный период эксплуатации разрушение изнашиваемой поверхности у детали идет сравнительно быстро. Это объясняется процессом приработки соединений деталей, устранением следов их механической обработки. В этот период скорость изнашивания в основном обусловливают **технологические** фак-

торы. Период нормальной работы характеризуется весьма малой скоростью изнашивания. Однако в течение этого периода износ постепенно нарастает, и скорость износа в основном обусловлена **внутренними эксплуатационными** и **конструктивными факторами**. К концу периода условия трения соединений деталей резко изменяются, что вызывает форсированный износ детали. В дальнейшем наступает период аварийного износа.

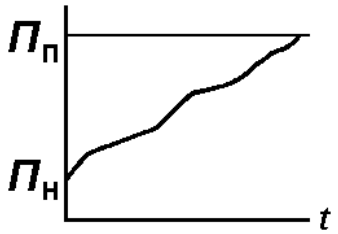
При ремонте объекта выбраковку детали производят в том случае, если ее износ превышает допустимое значение. Допустимый без ремонта износ — это износ, при котором деталь проработает до следующего ремонта.

Номинальное значение параметра $П_н$ — значение параметра, определенное его функциональным назначением и служащее началом отсчета отклонений. Номинальное значение наблюдается у новых и капитально отремонтированных составных частей.

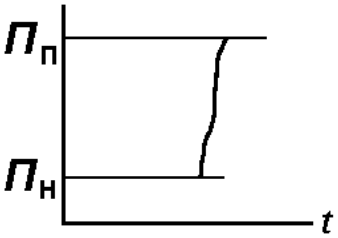
Предельное значение параметра $П_п$ — это наибольшее или наименьшее значение, которое может иметь работоспособная составная часть машины.

Допускаемое значение параметра $П_д$ характеризуется граничным его значением, при котором составную часть машины допускают после контроля к эксплуатации без операций технического обслуживания или ремонта. Это значение приводят в технической документации на обслуживание и ремонт машин. При допускаемом значении параметра составная часть надежно работает до следующего планового контроля.

Медленное, постепенное изменение параметра технического состояния от номинального до предельного значения характеризует **постепенный отказ** (потерю работоспособности) составной части.



Скачкообразное изменение параметра до предельного значения характеризует **внезапный отказ.**



В процессе технического обслуживания машин обычно измеряют параметры состояния, обусловливающие постепенные отказы. Это такие параметры, как расход газов, прорывающихся в картер, эффективная мощность двигателя и расход топлива, тепловой зазор в механизме газораспределения, подача масляного насоса, износ подшипников качения, шестерен, звездочек, втулочно-роликовой цепей и т.д.

При внезапном отказе машину диагностируют в целях выявления места отказа и устранения его последствий. К такому виду отказов относятся трещины блока, головки блока цилиндров двигателя, поломка пружины газораспределительного механизма, выход из строя редукционного или предохранительного клапана смазочной системы, нарушение прокладок, поломка бичей молотильного аппарата зерноуборочного комбайна и др.

При работе машины величина параметра может как увеличиваться (износ детали), так и уменьшаться (падение мощности дизеля, производительности машины).

Математически отклонение параметра технического состояния $u_1(t)$ обычно выражают степенной функцией

$$u_1(t) = V_c\, t^{\alpha} + Z(t) + \Delta\Pi \text{ или } u_1(t) = u_1(t) - \Delta\Pi = V_c\, t^{\alpha} + Z(t),$$

где V_c – случайная величина, характеризующая показатель скорости изменения параметра под влиянием вариации конструктивно-технологических факторов машины, ед. параметра/ед. наработки;

t – наработка;

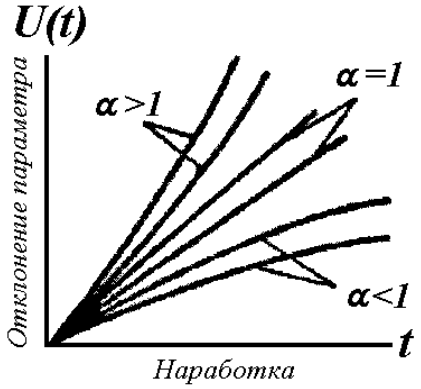
α – показатель степени, зависимый от конструктивных особенностей составной части;

$Z(t)$ – случайная величина в момент t, принимающая как положительное, так и отрицательное значения, характеризующая разность фактического отклонения параметра от плавной кривой $V_c\, t^{\alpha}$ под влиянием вариации эксплуатационных факторов, ед. параметра;

$\Delta\Pi$ – показатель, характеризующий приработку составной части, численно равный значению функции при $t = 0$, ед. параметра.

Достижение параметром предельного отклонения $u_{п1} = П_п - П_н + \Delta\Pi$ или $u_n = u_{п1} - \Delta\Pi = П_п - П_н$ характеризует отказ или неисправность машины или составной части.

Случайная величина V_c геометрически образует пучок гладких кривых с различным тангенсом угла наклона, характеризующим скорость отклонения параметра в момент t. Случайная величина $Z(t)$ превращает гладкие кривые в ломаные. Совместное их действие образует пучок ломаных кривых фактического отклонения параметра однотипных составных частей.



При показателе степени $\alpha = 1$ и $Z(t) = 0$ наблюдается пучок прямых линий, при $\alpha > 1$ и $\alpha < 1$ – пучок гладких вогнутых и выпуклых кривых.

Показатели надежности машин

Надежность – комплексное свойство, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтопригодность и сохраняемость, а также сочетания этих свойств.

Безотказность — свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

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

Ремонтопригодность — приспособленность объекта к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

Сохраняемость — свойство объекта сохранять значения параметров в течение и после хранения или транспортирования.

Показатели безотказности

Вероятность безотказной работы – отношение количества машин, отработавших в пределах заданной наработки без отказа, к общему числу машин.

Интенсивность отказов – отношение среднего числа отказавших в единицу времени (наработки) объектов к числу объектов, оставшихся работоспособными.

Средняя наработка до отказа – отношение суммы наработок до первого отказа к общему числу машин.

Средняя наработка на отказ – отношение наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки.

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

Показатели долговечности

Технический ресурс – наработка объекта от начала его эксплуатации или после капитального ремонта до наступления предельного состояния.

- доремонтный ресурс – ресурс до первого капитального ремонта.
- межремонтный ресурс – ресурс между капитальными ремонтами.
- полный ресурс – ресурс до списания.

Срок службы – календарная продолжительность от начала эксплуатации или после капитального ремонта до перехода в предельное состояние.

Назначенный ресурс (срок службы) – суммарная наработка (календарная продолжительность эксплуатации) объекта, при достижении которой его применение по назначению должно быть прекращено независимо от его состояния.

Показатели ремонтопригодности

Среднее время восстановления работоспособного состояния.

Вероятность восстановления работоспособного состояния – вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния объекта не превысит заданного.

Технико-экономические показатели – удельные затраты времени, труда или денежных средств на поддержание работоспособности (ТО и ремонт)

Показатели сохраняемости

Средний срок сохраняемости.

Средние удельные затраты на хранение объекта

Комплексные показатели надежности

Коэффициент готовности – вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается.

Коэффициент оперативной готовности – вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, и, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени.

Коэффициент технического использования – отношение времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к времени пребывания объекта в работоспособном состоянии и времени простоев, обусловленных ТО и ремонтом за тот же период.

Удельная стоимость надежности – это средняя стоимость приобретения, технического обслуживания, ремонта и хранения машины, отнесенная к единице наработки.

Понятие ресурса машин

Под ресурсом понимается наработка изделия от начала эксплуатации (или ее возобновления после капитального ремонта) до предельного состояния, оговоренного технической документацией. Применительно к мобильной технике различают средний ресурс до списания, средний ресурс до капитального ремонта и средний ресурс между капитальными ремонтами.

Срок службы – это календарная продолжительность эксплуатации изделия от ее начала (или возобновление после КР) до наступления предельного состояния.

Таким образом, понятие «ресурс» применяется при характеристике долговечности по наработке изделия, а «срок службы» - по календарному времени. Как ресурс, так и срок службы изделий зависят от большого числа факторов, обусловленных погрешностями их производства и условиями эксплуатации. В связи с этим и ресурс, и срок службы являются случайными величинами.

Средний ресурс определяется по формуле

$$\bar{T}_{cp} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} T_i$$

где N – число изделий, находящихся под наблюдением; T_i - наработка i-го изделия до КР или списания.

Гамма-процентный ресурс - это наработка, в течение которой изделие не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью γ, выраженной в процентах. Гамма-процентный ресурс легко определяется по графику вероятности безотказной работы P(t) (рис. 1.6, а).

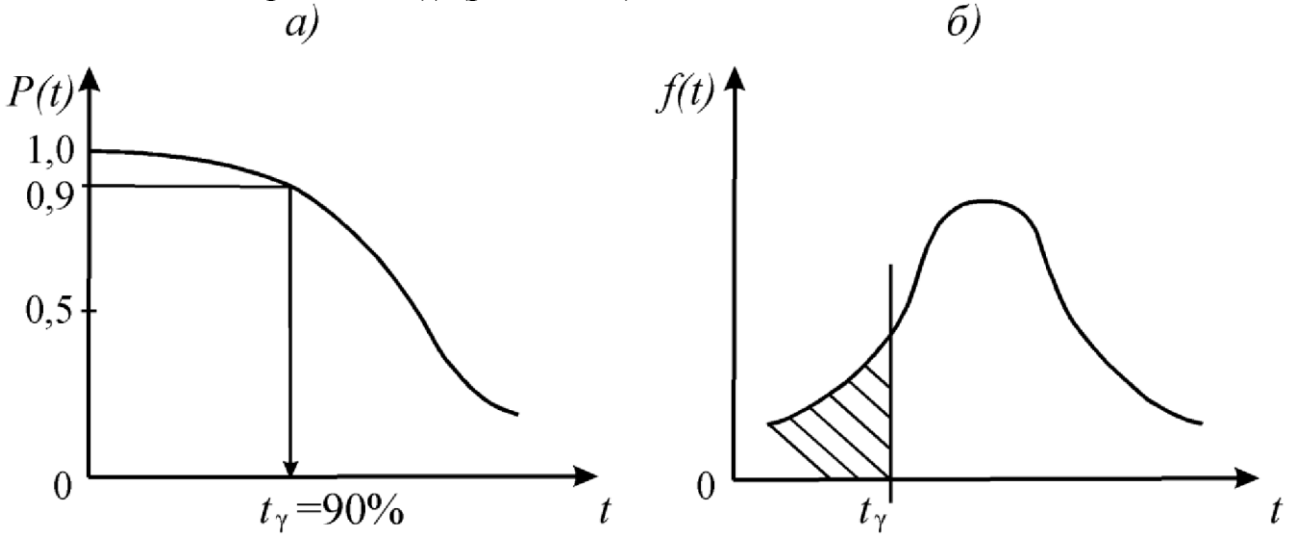


Рис. Схема определения γ – процентного ресурса

Для этого через точку P(t) = γ на оси ординат следует провести горизонталь до пересечения с кривой вероятности безотказной работы. Абсцисса точки пересечения и будет γ-процентным ресурсом. Например, для γ = 90 % соответствует наработка tγ = 90 %, которая и является γ-процентным ресурсом для данного изделия.

Для партии изделий γ-процентный ресурс представляет собой наработку, которую имеют или превышают обусловленный процент изделий γ (б). Вертикальная линия с абсциссой, равной γ-процентному ресурсу, рассекает площадь под кривой f(t) на две области: справа находится область, площадь которой равна вероятности работы без нарушения работоспособного состояния, а слева - область, площадь которой равна вероятности работы с возможными отказами.

При известной функции распределения ресурса γ-процентный ресурс находится из выражения

$$1 - F\left(t_\gamma\right) = 1 - \int_0^{t_\gamma} f\left(t\right)dt = \frac{\gamma}{100}$$

Надежность машинно-тракторного парка

Под надежностью машинно-тракторного парка (МТП) понимается его свойство выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения уста-

новленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих определенным условиям использования.

На работу МТП и его надежность оказывает влияние большое число факторов:

- технических (надежность машин и их возраст, количество и качество запасных частей и эксплуатационных материалов, обеспеченность и состояние оборудования мастерской и др.);

- технологических (периодичность и качество выполнения ТО и ремонта, соответствие числа постов ТО и ТР потребностям и т. п.);

- организационных (система снабжения запасными частями и агрегатами, простои по различным причинам и др.);

- социальных (обеспеченность кадрами и их текучесть, квалификация и стаж работы механизаторов и ремонтных рабочих, условия и организация труда, стимулирование персонала и т.д.);

- дорожных и природно-климатических (состояние и обустройство дорог, температура, влажность, запыленность воздуха и др.).

Совокупное действие перечисленных факторов приводит к тому, что надежность одной машины не совпадает с надежностью всего парка машин.

Между надежностью отдельно взятой машины и надежностью МТП есть существенные различия.

1. Машина является изделием, обладающим конечным ресурсом, в то время как МТП – это непрерывно обновляемая система за счет списания выработавших ресурс и введения новых машин.

2. Элементы машины (агрегаты, узлы и детали) обычно связаны между собой так, что отказ одного из них может привести к отказу машины в целом; в парке машины функционируют во многом независимо одна от другой.

3. МТП, в отличие от машины, не имеет полных отказов; то или иное количество машин всегда находится в работоспособном состоянии.

4. Возможности для резервирования машин или парка машин разные: в первом случае резервирование элементов может потребовать глубокого вмешательства в конструкцию, а во втором замена или резервирование целых машин осуществляются значительно проще.

5. Экономические возможности и последствия замены элементов машины и элементов парка (т.е. целых машин) разные. Своевременное списание машин, выработавших свой ресурс, способствует улучшению показателей эффективности работы парка.

6. Ограниченный простой отдельно взятой машины практически не сказывается на его надежности, для МТП простой даже работоспособной машины рассматривается как частичный отказ.

Надежность среднесписочной машины с достаточной точностью характеризует коэффициент технической готовности $\alpha_т$, (относительное число работоспособных машин).

Обобщенную оценку надежности МТП дает суммарное число машин, направленных на выполнение работ - $\alpha_в$ (коэффициент выпуска машин).

Разница между $\alpha_т$ и $\alpha_в$ обусловлена преимущественно простоями машин по организационно-техническим и организационным причинам.

Проблема равнопрочности.

Идея создания равнопрочной машины, которая разрушалась бы одновременно по всем своим составляющим, достаточно долго привлекала к себе внимание теоретиков и практиков (конструкторов и технологов). Со временем стало понятно, что в машинах, компоненты которых создаются на основе различных материалов и технологий, подвергаются различным видам нагружения и разрушительным процессам, это неосуществимо.

Основные причины — разнообразие и неопределенность условий и режимов эксплуатации, неустранимый разброс характеристик несущей способности компонентов.

К тому же, проектировать все составные части машины на один и тот же ресурс нецелесообразно по экономическим соображениям.

К проблеме равнопрочности имеет отношение проблема сопоставления результатов прочностных расчетов различных деталей машин.

Специализация и углубление подходов привели к разнообразию методик, несопоставимых форме и представлению результатов. Так, в результате расчета зубчатых колес по ГОСТ 21354-87 (СТ СЭВ5744-86) сопоставляются действующие и допускаемые напряжения; при расчете подшипников качения по РД 37.001.010-83 определяется 90-процентный ресурс, выраженный в километрах пробега автомобиля; в расчетах ряда деталей машин фигурируют в качестве результата коэффициенты запаса, хотя понятие «коэффициент запаса» не имеет смысла, поскольку все объекты, в конечном счете, всегда разрушаются, какой бы запас они не имели.

Если поставить задачу спроектировать все детали автомобиля на один и тот же ресурс и подтвердить результаты проектирования расчетом, то реализовать такую задачу практически невозможно из-за указанного разнообразия методик.

Машине, как техническому объекту, можно обеспечить вечный ресурс, заменяя новыми те ее составные части, которые достигают предельных состояний. В реальной практике понятие ПС имеет договорной, декларативный характер. Заинтересованные стороны (производитель и потребитель, или один из них) устанавливают критерии, по которым признается достижение машиной ПС. Критерии ПС формируются не только для машины в целом, но и для ее составных частей. Все чаще потребитель требует от производителя техническое руководство (обычно в электронной форме), где описываются возможные предельные состояния всех составных частей машины.

Поэтому вопрос описаний предельных состояний становится все более актуальным и составляет основу взаимоотношений производителя и потребителя.

Анализ материалов по определению ресурса автомобильной, тракторной, строительноодорожной, пожарной и других видов техники показывает, что само понятие ресурса до предельного состояния машины в них трактуется по разному.

При этом для квалификации факта исчерпания ресурса привлекаются разнообразные критерии: технические, экономические, физические и другие.

При описании предельного состояния машины и ее составных частей следует исходить из того, что возможны две ситуации.

Первая — предельное состояние компонента приводит к предельному состоянию системы (подсистемы), в которую входит компонент.

Во втором случае для квалификации ПС используется более сложная логика по сравнению с определением ресурса объекта по наиболее слабой его составной части.

Предельное состояние машины (составной части) нее обходимо отличать от случая прекращения ее эксплуатации.

Предельные состояния машины декларирует производитель, например, в технических условиях. Кроме того, известны случаи принятия таких критериев на уровне государственных стандартов (СССР). Наиболее естественным является подход, когда предельное состояние машины описывается на основе технических критериев, т.е. через предельные состояния агрегатов, последних — через предельные состояния узлов, а их, в свою очередь, — через детали. Предельные состояния детали с ресурсной точки зрения должны быть описаны через ПС ее конструктивных элементов. Эти критерии физически проверяемы и объективны.

Решение о прекращении эксплуатации принимает потребитель. Для принятия решения о прекращении эксплуатации машины он может использовать любые соображения: технические, экономические, нравственные и т.д.

Классификация предельных состояний и расчетов ресурса. Расчеты ресурса и предельные состояния, можно классифицировать по критериям, которым они соответствуют, и выделить следующие случаи: 1) одномерные простые, 2) одномерные комплексные и 3) многомерные ПС.

Первый случай соответствует одному предельному состоянию, которое вызвано действием одного нагружающего фактора. Второй — одному ПС, которое обусловлено действием нескольких нагружающих факторов (повреждающих процессов). Третий случай характерен для рассмотрения машины и ее составных частей как систем со многими ПС.

В этом случае в расчете на заключительных стадиях применяются методы традиционной (структурной) теории надежности, и необходимо оперировать сложной логикой ПС.

При разработке и расчете механических объектов принципиальное значение имеет использование следующих данных и методов работы с ними:

- предельные состояния объекта и его компонентов;

− условия эксплуатации;

- свойства материалов и компонентов;

− вероятностное описание состояния объектов, условий эксплуатации, свойств материалов и компонентов.

Вероятностный подход обусловлен разнообразным применением объектов (условиями эксплуатации, действиями водителя) и природой их прочностных свойств.

Развитие методологии расчетов привело к введению вероятностного описания объектов для прочностных (ресурсных) моделей, как наиболее точно отражающих действительность, и узаконила вероятностные показатели — показатели надежности.

Основная формула теории надежности и ее ограниченность применительно к механическим системам. Теория надежности сформировалась в результате рассмотрения проблемы: почему система, состоящая из многих надежных элементов, в целом является ненадежной?

Теоретически, любую механическую систему можно представить сколь угодно большим числом последовательно соединенных элементов. В этом случае ее расчетная надежность будет стремиться к нулю. Очевидно, что для механических систем реальная надежность может быть низкой, но не нулевой, и подобная ситуация не соответствует действительности. Это объясняется тем, что элементы механической системы нельзя полагать независимыми. Их отказы/предельные состояния связаны друг с другом, определяются действием общих факторов.

Разрыв между расчетами механики и теории надежности. Теория надежности получила широкое применение при расчетах электрических и электронных систем, которые, как правило, представлены стандартными компонентами с известными характеристиками надежности. Однако эти подходы не в полной мере применимы к механическим системам.

Первое отличие механических от электронных и электрических систем состоит в нестандартном виде и поведении механических компонентов. Оно обусловлено следующими причинами:

- при проектировании механических систем большинство элементов, составляющих систему, проектируют и изготовляют только и именно для этой системы;

- характеристики надежности элементов заранее не известны;

- для вновь проектируемых механических систем почти каждый элемент (вал, зубчатое колесо, диск трения и т.д.) изготавливают по индивидуальному конструктивному оформлению;

- при этом, каждый элемент отличается множеством признаков (конфигурацией, размерами, прочностными характеристиками);

- каждая деталь механической конструкции не является элементом конечной сложности, так как отказы даже достаточно простых деталей происходят из-за отказов различных элементов этих деталей;

- для вновь проектируемой механической системы нельзя с достаточной определенностью рассчитать количественные показатели надежности, пока не будет известно конструктивное оформление ее элементов.

Оценку надежности на стадии проектирования в предлагается проводить путем расчетов элементов с учетом вероятностных распределений внешних нагрузок и несущей способности элемента.

Полученные значения показателей надежности в дальнейшем использовать для прогнозирования надежности системы методами схемной надежности.

При этом учитываются связи элементов в структурно-логической схеме. Под связями понимается информация об установке (последовательной либо параллельной) элемента в соответствующей подсистеме. Таким образом, предполагается, что для определения показателей надежности системы достаточно знания об уровнях надежности элементов и наличия структурно-логической схемы соединения элементов.

Для большинства сборочных единиц (СЕ) машин, которые представляют собой нерезервированные системы, структурно-логическая схема сводится к цепи последовательно связанных элементов, а надежность системы в рамках традиционной (системной, структурной, схемной) надежности рассчитывается путем перемножения вероятностей безотказной работы элементов в предположении о независимости их отказов.

В системных расчетах используют показатели надежности компонентов как исходную информацию [3]. Однако проблема состоит в том, чтобы получить данные о надежности электрических и механических компонентов.

Эти показатели обычно принимают по данным эксплуатации аналогов [4]. Для механических компонентов такая практика некорректна. Один и тот же типовой механический компонент (например, подшипник) имеет различные условия работы в различных машинах и механизмах.

Из-за этого его надежность может быть различной.

Вторая важная особенность расчета механических систем — это учет зависимостей между компонентами.

Зависимости компонентов в рамках традиционной (математической, структурной) теории надежности могут быть реализованы только путем учета корреляции между их отказами [7]. Однако проблема состоит в получении корреляционных зависимостей. Эти зависимости отличаются в разных системах, условиях и режимах их работы. Они не могут быть получены в рамках традиционной теории надежности.

Расчет надежности изделий машиностроения по последовательной схеме без учета взаимного влияния элементов друг на друга дает результат значительно ниже практически наблюдаемого.

Расчет ресурса машины как сложной механической системы с зависимыми элементами имеет смысл только в вероятностной постановке. Такой расчет носит характер вероятностного прогноза.

Проблемы ресурсного расчета механической системы отражают общие проблемы моделирования поведения сложных систем. Принципиальной особенностью таких систем является организованное поведение их элементов. Это положение согласуется с получающей все большее распространение синергетической парадигмой как новым мировоззрением, общенаучной концепцией и методической основой объектных теорий. Для объектных теорий выделяют следующие принципы: нелинейность (несохранение аддитивности); неустойчивость; открытость; подчинение. Последний принцип является ключевым для понимания и описания организованного поведения частей (элементов) системы. На его основе параметры порядка «управляя ют» поведением отдельных частей.

В реальных системах число параметров порядка невелико, что позволяет анализировать поведение системы на основе упорядочивающего действия этих факторов. Кроме того, рассмотренная ситуация приводит к коррелированному поведению частей системы.

Направление, изучающее ресурсные свойства не только элементов (предельных состояний деталей), но и механических систем в целом, названо «ресурсной механикой машин» (РММ). В основе этого направления — обоснование и реализация принципа ресурсно-зависимого поведения элементов в нагруженной механической системе. Иначе говоря, ресурсы различных деталей по их возможным предельным состояниям зависимы из-за общих факторов (внешних и внутренних), которые всегда действуют в машинах и их окружении. Принцип зависимости элементов является фундаментальным и дает основу для объяснения отличий в поведении системы по сравнению с поведением отдельных элементов.

РММ, реализуя этот принцип, направлена на разработку моделей и процедур, учитывающих эффекты зависимого поведения элементов. Выявлены и классифицированы характерные зависимости, связывающие и организующие поведение элементов многоэлементной нагруженной системы. Эти зависимости проявляются на уровне отдельной системы и на уровне группы рассматриваемых систем.

Для уровня отдельной системы (конкретной машины) можно выделить следующие типовые случаи проявления эффектов взаимодействия элементов, их согласованного, кооперативного, упорядоченного поведения.

Зависимое поведение элементов — основная проблема в расчетах машин и других сложных систем. Разработанные подходы и основанные на них методы ресурсной механики позволяют воспроизводить действительные связи между компонентами и, тем самым, методически корректно рассчитывать реальную надежность машины как многокомпонентой системы.

Следующий принципиальный аспект в расчете надежности машины и ее компонентов — это описание и учет сложной логики их предельных состояний/отказов. Многоуровневое представление машины и интеграция механической и структурной надежности, во многом способствуют решению этой проблемы.

2. ФАКТОРЫ СНИЖЕНИЯ РЕСУРСА МАШИН

Механическое изнашивание деталей мобильных машин.

От 80 до 90 % подвижных сопряжений машин выходят из строя вследствие износа. При этом снижаются КПД, точность, экономичность, надежность и долговечность машин. Процесс взаимодействия поверхностей при их относительном движении изучает такая научно-техническая дисциплина, как трибология, объединяющая проблемы трения, износа и смазки.

Виды трения

Существуют четыре вида трения:

1. Сухое трение возникает при отсутствии смазки и загрязнений между трущимися поверхностями. Обычно сухое трение сопровождается скачкообразным перемещением поверхностей.

2. Граничное трение наблюдается в том случае, когда поверхности трущихся тел разделены слоем смазки толщиной от 0,1 мкм до толщины одной молекулы, который называется граничным. Его наличие снижает силы трения от двух до десяти раз по сравнению с сухим трением и уменьшает износ сопряженных поверхностей в сотни раз.

3. Полусухое трение – это смешанное трение, когда на площади контакта тел трение местами граничное, а на остальной части сухое.

4. Жидкостное трение характеризуется тем, что трущиеся поверхности полностью разделены толстым слоем смазки. Слои смазки, находящиеся от поверхности на расстоянии свыше 0,5 мкм, имеют возможность свободно перемещаться один относительно другого.

При жидкостном трении сопротивление движению складывается из сопротивления скольжению слоев смазки относительно друг друга по толщине смазочного слоя и зависит от вязкости смазочной жидкости. Этот режим характеризуется весьма малым коэффициентом трения и является оптимальным для узла трения в отношении его износостойкости.

Следует отметить, что иногда в одном и том же механизме наблюдаются различные виды трения. Так, например, в двигателе внутреннего сгорания стенки цилиндров в нижней части смазываются обильно, вследствие чего при движении поршня на середине хода трение колец и поршня о стенку цилиндра приближается к жидкостному.

При движении поршня вблизи верхней мертвой точки (особенно при такте впуска) условия смазки колец и поршня резко ухудшаются, так как оставшаяся на стенках цилиндра масляная пленка претерпевает изменения под воздействием высокой температуры продуктов сгорания. Особенно плохо смазывается верхняя часть цилиндра. После пуска холодного двигателя возможно граничное и даже сухое трение компрессионных колец о стенки цилиндра, что является одной из причин повышенного износа цилиндров в верхней части.

Виды изнашивания

Изнашиванием называют 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.

Изнашивание обычно подразделяется на две группы:

1. Механическое – возникает в результате режущего или царапающего действия твердых частиц, находящихся между поверхностями трения:

1) абразивное – изнашивание поверхности детали, которое происходит в результате режущего или царапающего действия твердых тел или частиц;

2) эрозионное (гидроабразивное, газоабразивное, электроэрозионное) – изнашивание происходит в результате воздействия на поверхность детали движущегося с большой скоростью потока жидкости, газа, твердых частиц, в результате воздействия разрядов при прохождении электрического тока;

3) кавитационное – изнашивание возникает при относительном движении твердого тела и жидкости в условиях кавитации. Кавитация наблюдается в жидкости при падении давления в ней до давления насыщенных паров, когда нарушается сплошность потока жидкости и образуются кавитационные пузыри. В момент достижения предельного размера они начинают захлопываться с большой скоростью, что приводит к гидравлическому удару о поверхность металла;

4) усталостное – изнашивание под действием знакопеременных напряжений. Ему подвержены зубчатые передачи, подшипники качения и скольжения;

5) адгезионное – изнашивание (изнашивание при заедании) происходит при схватывании металлов в процессе трения с образованием прочных металлических связей в зонах непосредственного контакта поверхностей;

6) изнашивание при фреттинге – это механическое изнашивание мест проскальзывания плотно контактирующих поверхностей, находящихся под нагрузкой при колебательных, циклических, возвратно-поступательных относительных перемещениях с малыми амплитудами.

2. Коррозионно-механическое – возникает при трении материалов, вступающих в химическое взаимодействие с окружающей средой:

1) окислительное изнашивание – происходит в том случае, когда кислород, содержащийся в воздухе или в смазке, вступает во взаимодействие с металлом и образует на нем оксидную пленку, которая при трении истирается или отрывается от металла и удаляется со смазкой, а затем образуется вновь (примером окислительного изнашивания может служить изнашивание верхней части цилиндров двигателя внутреннего сгорания при действии кислотной коррозии, происходящей при низкой температуре стенок, особенно при работе непрогретого двигателя);

2) изнашивание при фреттинг-коррозии заключается в образовании на поверхностях взаимного касания деталей язвинок и продуктов коррозии в виде порошка или налета. Изнашивание при этом зависит от одновременно протека-

ющих процессов микросхватывания, усталостного, коррозионно-механического и абразивного воздействия.

Характеристики изнашивания

Основными количественными характеристиками изнашивания являются износ, скорость изнашивания, интенсивность изнашивания.

Износ – результат изнашивания, определяемый в установленных единицах. Износ (абсолютный или относительный) характеризует изменение геометрических размеров (линейный износ), массы (весовой износ) или объема (объемный износ) детали вследствие изнашивания и измеряется в соответствующих единицах.

Скорость изнашивания $V_и$ (м/ч, г/ч, $м^3$/ч) – отношение износа U к интервалу времени τ, в течение которого он возник:

$$V_и = \frac{U}{\tau}$$

Интенсивность изнашивания J – отношение износа к обусловленному пути L, на котором происходило изнашивание, или объему проделанной работы:

$$J = \frac{U}{L}$$

При линейном износе интенсивность изнашивания является безразмерной величиной, а при весовом – измеряется в единицах массы, отнесенной к единице пути трения.

Свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения характеризуется износостойкостью – величиной, обратной скорости или интенсивности изнашивания, в соответствующих единицах.

В процессе работы машины показатели изнашивания деталей и сопряжений не сохраняют постоянных значений. Изменения износа деталей во времени в общем случае можно представить в виде модели, предложенной В.Ф. Лоренцом. В начальный период работы, называемый периодом приработки, наблюдается довольно быстрый износ деталей (участок I). Продолжительность этого периода обусловливается качеством поверхностей и режимом работы механизма и составляет обычно 1,5-2% ресурса узла трения.

После приработки наступает период установившегося режима изнашивания (участок II), определяющий долговечность сопряжений. Третий период – период катастрофического изнашивания (участок III) – характеризует предельное состояние механизма и ограничивает ресурс. Как видно из приведенных графиков, процесс изнашивания оказывает прямое, определяющее влияние на возникновение отказов и неисправностей узлов трения машин. Изменение показателей надежности во времени идентично изменению показателей изнашивания.

Более высокая крутизна кривой m на участке II объясняется тем, что с наработкой возникают отказы, вызванные, помимо износа, усталостным, коррозионным разрушением или пластическими деформациями.

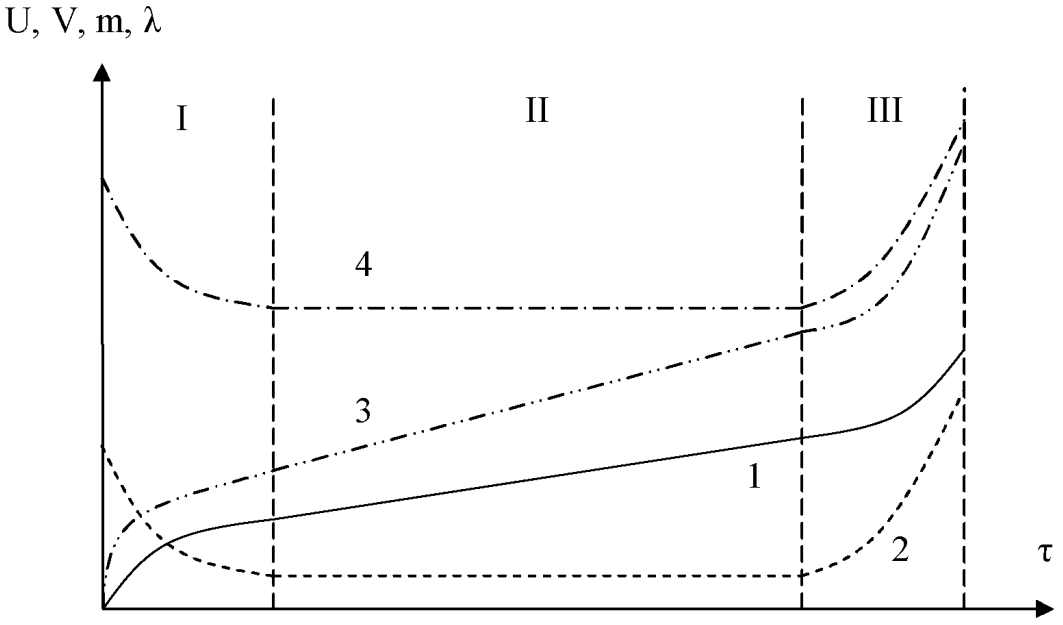


Рис. Изменение параметров сопряжения в процессе работы:
1 – износа U; 2 – скорости изнашивания V; 3 – частоты отказов m;
4 – интенсивности отказов λ

Приработкой называют процесс изменения геометрии поверхностей трения и физико-химических свойств поверхностных слоев материала в начальный период трения, обычно проявляющийся при постоянных внешних условиях в уменьшении силы трения, температуры и интенсивности изнашивания. Процесс приработки характеризуется интенсивным отделением с поверхностей трения продуктов износа, повышенным тепловыделением и изменением микрогеометрии поверхностей.

При правильном выборе соотношения твердости деталей и режимов приработки довольно быстро наступает период так называемого нормального, или установившегося изнашивания (участок II). Этот период характеризуется небольшой, примерно постоянной, интенсивностью изнашивания и продолжается до тех пор, пока изменения размеров или формы деталей не повлияют на условия их работы, или до наступления предела усталости материала.

Накопление изменений геометрических размеров и физико-механических свойств деталей ведет к ухудшению условий работы сопряжения. Основным фактором при этом является повышение динамических нагрузок вследствие увеличения зазоров в трущихся парах. В результате наступает период катастрофического, или прогрессивного изнашивания (участок III). Описанная закономерность является условной и служит лишь иллюстрацией процесса изнашивания элементов машин.

Методы определения износа

1) Метод микрометрирования. Метод основан на измерении при помощи микрометра или измерительного прибора с индикатором параметров до и после изнашивания.

Недостатки метода:

– неизбежная разборка и сборка изделия до и после работы с целью измерения детали;

–выявленное изменение размера может быть следствием не только изнашивания поверхности, но и результатом деформации детали;

– разборка и сборка изделий в процессе эксплуатации резко снижает эксплуатационные качества машин.

2) Метод искусственных баз. Состоит в том, что на поверхности выдавливают или вырезают углубления заданной формы (пирамида или конус) и глубины. Наблюдая за изменением размера отпечатка, соотношение которого с глубиной заранее известно, можно определить местный линейный износ. Используются специальные приборы, позволяющие определять с точностью от 1,5 до 2 мкм для отверстий цилиндров двигателей, валов, а также плоских поверхностей.

Недостаток метода – также требует в большинстве случаев предварительной разборки изделий и поэтому имеет те же недостатки, что и метод микрометрирования.

3) Метод измерения износа по уменьшению массы. Основан на взвешивании детали до и после изнашивания. Обычно применяется при испытании деталей небольшой массы.

Недостаток метода – может оказаться неприемлемым, когда износ происходит вследствие не только отделения частиц, но и пластического деформирования.

4) Метод анализа содержания железа в масле. Основан на химическом анализе золы, получаемой сжиганием пробы масла. За период между двумя последовательными отборами проб учитывают общее количество масла в картере, его потерю и количество доливаемого масла.

Данный анализ является интегральным, так как продукты износа обычно отделяются одновременно от нескольких трущихся деталей. Точное определение количества железа осложняется тем, что крупные частицы продуктов износа могут оседать на стенках картера.

5) Метод радиоактивных изотопов. Заключается в том, что в материал изучаемой детали вводят радиоактивный изотоп. При этом вместе с продуктами износа в масло будет попадать пропорциональное им количество атомов радиоактивного изотопа. По интенсивности их излучения в пробе масла можно судить о количестве металла, попавшего в масло за рассматриваемый период времени.

Преимущества метода:

– определяется износ определенной детали, а не суммарный для нескольких деталей;

– чувствительность повышается в сотни раз;

– ускоряется процесс исследования.

Недостатки метода:

– требуется специальная подготовка образцов исследуемых деталей;

– наличие специальной аппаратуры для измерения интенсивности излучения и принятие мер предосторожности для охраны здоровья людей.

Усталостное разрушение деталей мобильных машин.

Деформацией называется изменение формы и размеров детали под воздействием внешних сил (силовой нагрузки). Различают два вида деформации – упругую и пластическую.

Упругой деформацией называют деформацию, которая исчезает одновременно со снятием нагрузки или несколько позже в период «разгрузки» материала. Упругая деформация не вызывает заметных изменений в структуре и свойствах материала, так как под действием приложенной нагрузки возникает лишь незначительное смещение атомов из положения равновесия. После снятия силового нагружения смещенные атомы возвращаются в исходное равновесное состояние, и тело приобретает свою исходную форму и размеры.

Пластическая деформация представляет собой необратимое изменение формы и размеров детали после снятия нагрузки. Такая деформация возникает с увеличением нагрузки на конструктивный элемент, когда в металле появляются сдвиги одних микрообъемов относительно других. Эти сдвиги необратимы, и после снятия нагрузки деталь изменяет свою форму и размеры. Возникает некоторое формоизменение, которое носит название пластического или остаточного деформирования.

При деформировании в материале детали возникают внутренние силы, противодействующие этому процессу. Способность материала детали выдерживать внешние силовые нагрузки без разрушения называют прочностью, а ее количественной мерой служит напряжение прочности. При этом различают:

- нормальное напряжение прочности $\sigma_н = P / F$;
- касательное напряжение прочности $\tau_н = PS / FS$.

Нормальное напряжение противодействует отрыву отдельных частей материала детали, а касательное – сдвигу этих частей относительно друг от друга.

В зависимости от схемы силового нагружения в конструктивных элементах машин возникают следующие виды деформаций: растяжение (сжатие), сдвиг (срез), изгиб и кручение.

При эксплуатации машин подобные виды нагружений в чистом виде встречаются редко. В большинстве случаев материал конструктивного элемента подвергается сложному нагружению (изгибу с растяжением, изгибу с кручением, изгибу со сжатием и т.д.). Изгибу и кручению подвержены, например, валы, торсионы, пружины, рессоры и другие конструктивные элементы автомобилей, работающие в условиях высоких напряжений материала.

У такой сложной детали, как блок цилиндров двигателя остаточные деформации приводят к изменению положения осей посадочных отверстий под

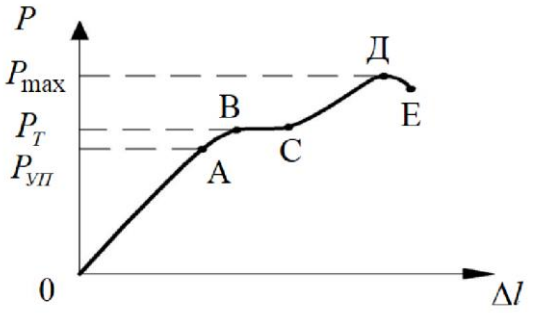
гильзы, под вкладыши коренных подшипников коленчатого вала, обработанных поверхностей относительно технологических баз, что существенно снижает долговечность двигателя в целом.

Для коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания характерны деформации скручивания с нарушением расположения кривошипов, а также изгиб, в результате которого возникает торцевое биение фланца маховика.

При таких сложных видах нагружения для определения суммарного напряжения на конструктивный элемент используют принцип независимости действия сил. В соответствии с ним деформации, возникающие от действия одной из приложенных к элементу нагрузок, не влияют на результаты действия остальных нагрузок.

Сдвигу (срезу) подвергаются детали, работающие в условиях значительных нагрузок и при отсутствии относительного перемещения контактирующих поверхностей. Такие виды разрушения возникают в шпоночных, шлицевых и резьбовых соединениях, упорах, штифтах и других деталях машин.

Графически изменение деформации Δl в зависимости от прилагаемой нагрузки может быть представлено диаграммой (рис.).



При приложении нагрузки до определенного значения (точка А) материал детали деформируется упруго, т.е. если нагрузка снимается, деформация исчезает. Максимальная нагрузка, при которой материал детали не перешел еще в стадию пластического деформирования, соответствует пределу упругости.

Предел упругости – это максимальное напряжение, до которого материал детали деформируется упруго, т.е. напряжение, при котором остаточная деформация практически отсутствует.

Последующее повышение нагрузки приводит к тому, что в металле появляются единичные сдвиги, т.е. возникает пластическая деформация. Деформация происходит при постоянной нагрузке на участке ВС диаграммы, который называется площадкой текучести. Нагрузка P_T, при которой начинается пластическая деформация, соответствует пределу текучести.

Предел текучести – это минимальное напряжение, при котором возникает пластическая деформация без заметного увеличения нагрузки.

Дальнейший процесс деформирования из-за наклепа и связанного с ним упрочнения материала требует увеличения нагрузки.

Наклеп возникает вследствие увеличения плотности дислокаций и на диаграмме соответствует участку СД. При дальнейшем возрастании нагрузки де-

формация увеличивается и в конечном счете достигает значения P_{max}, соответствующего пределу прочности.

Предел прочности – это напряжение при максимальной нагрузке, предшествующей разрушению.

При нагрузке P_{max} деформация локализуется, т.е. сосредотачивается в наиболее слабом сечении детали и развивается катастрофически быстро (участок ДЕ). В точке Е происходит окончательное разрушение детали.

Усталостное разрушение материалов деталей

Усталостное разрушение происходит в результате постепенного изменения физико-механических свойств в металлических деталях машин из-за многократного воздействия знакопеременных нагрузок.

Большое число деталей машин работает в режиме повторных переменных напряжений. Примером могут служить детали двигателя внутреннего сгорания (валы, шатуны, шестерни, поршни и др.), рамы, рессоры, кузова и кабины автомобилей и многие другие конструктивные элементы. Практика эксплуатации машин показывает, что материалы этих деталей разрушаются, несмотря на то, что напряжения от действия на них нагрузок не превышают предел упругости $\sigma_{УП}$.

Исследования причин такого явления показали, что при многократном действии повторных нагрузок материал детали как бы «устает», его несущая способность исчерпывается, и он разрушается.

Причина этого – постепенное накопление пластической деформации, которое и приводит к разрушению.

Механизм усталостного разрушения детали заключается в следующем. В идеальной атомной решетке материалов, в которых отсутствуют внешние или внутренние остаточные напряжения, атомы находятся в равновесном состоянии. В реальных же материалах конструктивных элементов машин кристаллическая решетка всегда имеет так называемые местные дислокации (атомная решетка искажена) из-за наличия пустот, включений и т.д.

При приложении внешних нагрузок происходит перемещение этих дислокаций путем скольжения. Именно в местах скольжения дислокаций перед препятствиями (посторонними внедрениями) зарождаются микроскопические трещины, вызываемые разрывом связей в кристаллической структуре металла. Локальные напряжения в области скольжения дислокаций в этот период эксплуатации конструктивных элементов превышают предел текучести материала $\sigma_{Т}$.

Таким образом, процесс усталостного разрушения можно подразделить на три стадии:

- в начальной стадии из-за циклических нагрузок, не превышающих предела упругости, в металле накапливаются упругие искажения кристаллической решетки;

- с увеличением числа циклов нагружения упругие напряжения кристаллической решетки, достигая критических значений, вызывают в материале возникновение субмикроскопических усталостных трещин;

- субмикроскопические трещины с дальнейшим увеличением числа циклов достигают размеров вначале микро-, а затем и макротрещин, в результате чего при дальнейшем их развитии происходит окончательное разрушение детали.

Трещины начинают развиваться во втором, достаточно продолжительном периоде эксплуатации. По результатам ряда исследований интервал между моментом образования усталостной трещины и моментом разрушения металла составляет до 90 % от общего срока службы детали.

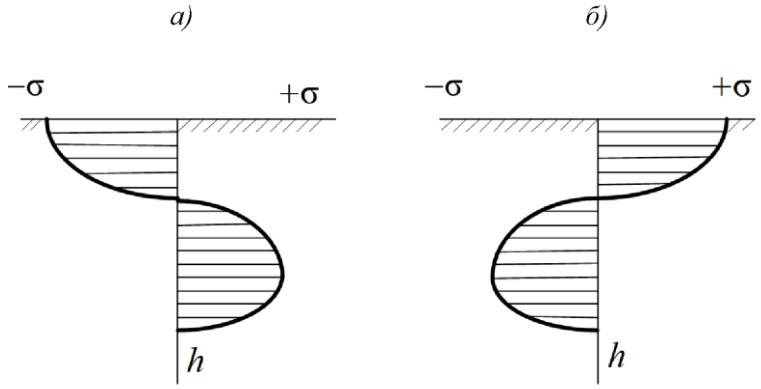
Внутренние напряжения в материале конструктивных элементов возникают не только под действием эксплуатационных напряжений, но и вследствие остаточных напряжений, вызываемых силовыми и температурными воздействиями на материал детали в процессе ее обработки. Такие напряжения, сохраняющиеся в детали длительное время, интегрируются с напряжениями, возникающими в результате действия внешних эксплуатационных нагружений, усиливая или ослабляя их.

При механической обработке в поверхностных слоях детали возникают остаточные напряжения двух видов:

- макронапряжения, охватывающие большие объемы материала (напряжения I рода);

- микронапряжения в пределах одного или нескольких зерен кристаллической решетки (напряжения II рода).

На рис. приведены типичные эпюры внутренних напряжений I рода, когда остаточные напряжения максимальны непосредственно у поверхностного слоя.



Как следует из эпюр, напряжения в поверхностном слое могут быть сжимающими (а) и растягивающими (б). Наиболее неблагоприятное воздействие оказывают растягивающие напряжения, которые приводят к существенному снижению усталостной прочности и износостойкости.

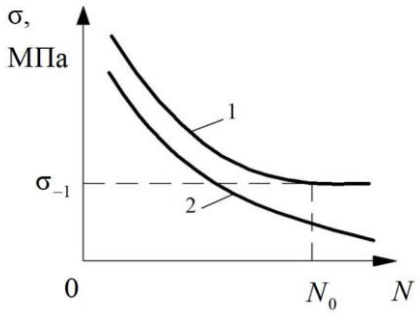
Долговечность (ресурс, срок службы) деталей, работающих в условиях повторных переменных нагружений, определяется характеристиками выносливости.

Под выносливостью понимается способность металла выдерживать переменные напряжения длительное время без разрушения.

В качестве критериев, оценивающих это свойство металла, служат предел выносливости (усталости) и число циклов нагружения до наступления разрушения.

Предел выносливости – это максимальное напряжение, при котором металл образца не разрушается после бесконечного или заданного числа циклов нагружения.

Наглядной иллюстрацией зависимости между числом циклов нагружения до разрушения N и величиной напряжения σ является кривая выносливости (кривая Вёлера), которую получают с помощью испытаний серии гладких полированных образцов диаметром 10 мм.



Из графика (кривая 1) видно, что с уменьшением напряжения σ количество циклов N до разрушения образца возрастает, и при определенном значении напряжения образец может проработать без разрушения бесконечно большое количеств циклов нагружения. Такое значение напряжения и принимают за физический предел выносливости σ–1.

Практика испытаний образцов из конструкционных сталей показывает, что если образец выдерживает не разрушаясь 107 циклов, то он не разрушится и в дальнейшем. Такое число циклов называют базовым N_0, т.е. достаточным при усталостных испытаниях.

Не все металлы имеют участок кривой выносливости, параллельный оси абсцисс. Для цветных металлов и их сплавов, например, кривая выносливости не имеет горизонтального участка и асимптотически приближается к оси N (кривая 2). В таких случаях определяют ограниченный предел выносливости, соответствующий заданному базовому числу циклов. Для цветных металлов и сплавов базовое число циклов принимается $N_0 = 108$.

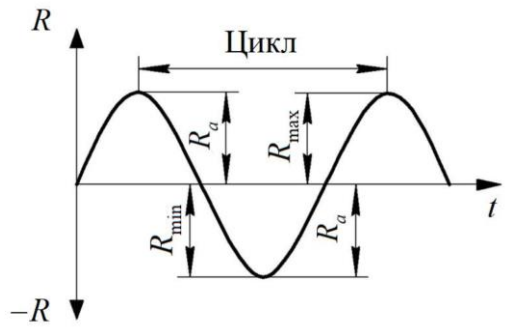
В аналитической форме зависимость между числом циклов напряжения N_0 до разрушения, напряжением цикла σ и пределом выносливости σ_{-1} выражается формулой

$$N_0 = k(\Delta - \sigma_{-1})^{-m},$$

где k и m – параметры, значения которых зависят от механических свойств материала детали, ее конструкции и режима эксплуатационного нагружения.

Кроме механических характеристик на предел выносливости оказывают влияние такие факторы, как вид напряженного состояния, величина максимального и минимального нагружений, степень асимметрии цикла. Испытаниями установлено, что наиболее неблагоприятным с точки зрения выносливости материала является симметричный цикл нагружения.

При таком цикле максимальное R_{max} и минимальное R_{min} значения нагрузок равны между собой, средняя величина нагрузки цикла $R_{ср} = 0$, а коэффициент асимметрии $r = R_{min} / R_{max} = 1$.



Кроме циклических воздействий на предел выносливости существенное влияние оказывают форма и размер детали, виды и режимы ее обработки, физико-механические свойства материала, эксплуатационные факторы. Воздействие этих факторов приводит к тому, что предел выносливости реальных деталей машин σ_{-1} значительно ниже (в ряде случаев в 3–6 и более раз) пределов выносливости гладких цилиндрических образцов с полированной поверхностью.

С увеличением размеров детали увеличивается структурная неоднородность ее материала, которая в соответствии с гипотезой «слабого звена» снижает сопротивление усталостному разрушению. Поэтому крупногабаритные конструктивные элементы более склонны к хрупкому разрушению, которое может произойти даже при упругих деформациях.

В практике это учитывается коэффициентом масштабного фактора

$$\varepsilon_\sigma = \sigma_{-1Д} / \sigma_{-1},$$

где $\sigma_{-1Д}$, σ_{-1} – пределы выносливости реальной детали и образца стандартного размера.

В таблице приведены значения коэффициента масштабного фактора ε_σ для валов из конструкционных сталей в зависимости от их диаметра.

Таблица. Значение коэффициентов масштабного фактора

Сталь		Диаметр вала d, м2						
		20	30	40	50	70	100	200
Углеродистая	ε_σ	0,92	0,88	0,85	0,92	0,76	0,70	0,61
Легированная	ε_σ	0,83	0,77	0,73	0,70	0,65	0,59	0,52

Снижает предел выносливости детали наличие в ней различных концентраторов внутренних напряжений.

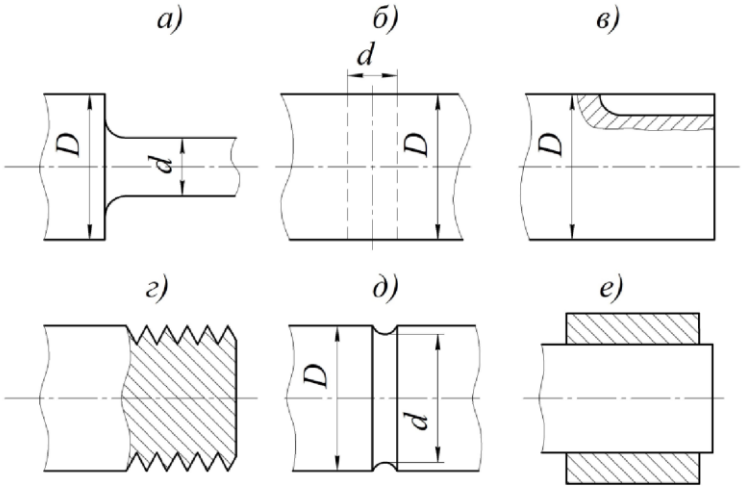


Рис. Примеры концентраторов внутренних напряжений:
а – резкое изменение формы и размеров детали (вал с галтелью);
б – поперечное отверстие; в – шпоночная канавка; г – резьба;
д – выточка; е – края напрессованной детали

В деталях, имеющих такие конструктивные элементы, происходит перераспределение напряжений: они увеличиваются в зонах концентраторов и уменьшаются в сечениях, достаточно удаленных от них.

В качестве основного показателя, учитывающего влияние концентраторов напряжений на предел выносливости при переменных нагрузках, используется эффективный или действительный коэффициент концентрации:

$$k_\sigma = \sigma_{-1} / \sigma_{-1k},$$

где σ_{-1}, σ_{-1k} – пределы выносливости образца без концентрации и с концентрацией напряжений.

Большое влияние на сопротивление усталостному разрушению оказывает состояние поверхностного слоя детали. С увеличением шероховатости, появлением на поверхности микроповреждений (микрорисок, микротрещин, микронеровностей) выносливость материала детали существенно снижается. Это объясняется тем, что поверхностный слой при возникновении основных видов деформаций (изгибе и кручении) является наиболее напряженным, поэтому на поверхности детали и возникает, как правило, усталостная трещина.

В соответствии с ГОСТ 2789-73 влияние состояния поверхностного слоя детали учитывается коэффициентом качества поверхности β, представляющим собой отношение предела выносливости с определенной обработкой поверхности σ_{-1n} к пределу выносливости полированного образца σ_{-1}.

$$\beta = \sigma_{-1n} / \sigma_{-1}.$$

На рисунке показаны зависимости значения коэффициента β от предела прочности стали $\sigma_в$ и вида обработки поверхности детали.

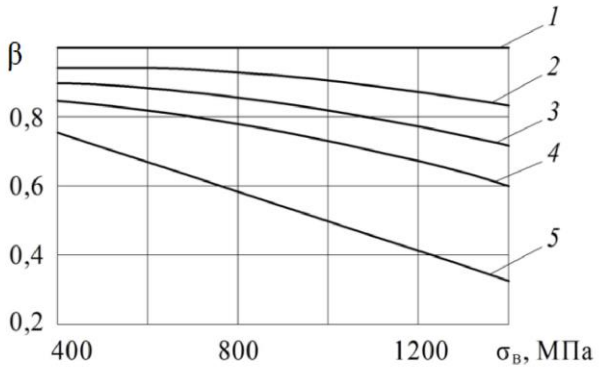


Рис. Зависимость коэффициента качества поверхности β
от предела прочности стали $\sigma_в$ и вида обработки поверхности:
1 – полирование; 2 – шлифование; 3 – тонкая обточка;
4 – грубая обточка; 5 – наличие окалины

Различные виды механической, термической, химико-термической обработки изменяют остаточные напряжения и химический состав поверхностных слоев деталей, изменяя тем самым и их сопротивление усталостному разрушению. Для повышения предела выносливости детали подвергают закалке токами высокой частоты, химико-термической обработке, поверхностному пластическому деформированию. Эти виды обработки создают в поверхностном слое детали остаточные сжимающие напряжения, которые затрудняют зарождение и развитие трещин, повышая тем самым предел выносливости.

На характер образования в материале усталостных микротрещин оказывают влияние и внешние факторы, действующие на элемент конструкции одновременно с силовыми циклическими нагружениями.

Наиболее существенные из этих факторов, характеризующих условия эксплуатации машины, – температура и коррозионная среда.

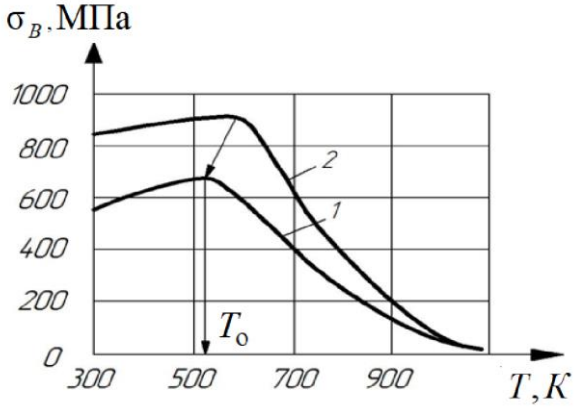


Рис. Зависимость напряжений прочности $\sigma_В$ от температуры:
1 – углеродистая сталь 45; 2 – легированная сталь 40Х

Повторные переменные по величине и значению напряжения создают в местах скольжения дислокаций большое число кратковременных температурных всплесков. При достаточно высоких частотах циклических нагружений та-

кие температурные всплески приводят к увеличению средней температуры материала детали до значений, вызывающих его разупрочнение.

Возникающие при этом тепловые напряжения при суммировании их с остаточными внутренними и внешними напряжениями снижают предел выносливости и ускоряют процесс образования микротрещин.

Как видно из рисунка, после достижения определенной (номинальной) температуры T_o характеристики прочности материала, в том числе и предел выносливости, с дальнейшим повышением температуры снижаются. Снижается предел выносливости и при температуре ниже номинальной. Это особенно заметно при испытаниях углеродистых сталей, для которых при уменьшении температуры ниже некоторых предельных значений резко возрастает опасность хрупкого разрушения. Температура (или интервал температур), при которой происходит резкое снижение ударной вязкости, называется порогом хладноломкости.

Хладноломкость характеризуется понижением пластической деформации в изломе перед разрушением материала, уменьшением длины усталостной трещины, сменой вязкого, волокнистого вида излома на кристаллический. Поэтому в качестве порога хладноломкости обычно принимают температуру, при которой в изломе содержится 50 % вязких волокнистых и 50 % хрупких кристаллических составляющих.

Многие детали, работающие в условиях переменных нагрузок, одновременно подвергаются воздействию коррозионной среды. Коррозия не только разрушает материал, она оказывает существенное влияние на процесс усталости металла.

Коррозия металла и ресурс машин.

Под коррозией понимается разрушение металлов вследствие их химического или электрохимического взаимодействия с коррозионной средой. В результате часть металла конструктивных элементов растворяется или переходит в ионное состояние с образованием окислов и солей. Способность металла сопротивляться коррозионному воздействию внешней среды называется коррозионной стойкостью.

Коррозия металла – один из наиболее опасных видов разрушения конструктивных элементов машин. Ежегодно прямые потери от коррозии составляют 10 % всего выплавляемого металла. При этом, несмотря на огромные средства, выделяемые для борьбы с коррозией, общие убытки от нее непрерывно растут.

Значительные потери несут все развитые страны из-за коррозионных разрушений автомобилей. Особенно сильному коррозионному разрушению подвержены детали автомобилей, выполненные из тонколистовой стали (кузова, кабины, резервуары и др.), а также сварные швы, резьбовые соединения, детали топливной аппаратуры двигателей.

Коррозия не только разрушает материал, но и оказывает существенное влияние на другие физические процессы, приводящие к потере машиной работоспособности. Как правило, коррозия ускоряет процессы изнашивания, усталостного разрушения, снижает сопротивляемость материала пластическому деформированию.

Классификация коррозионных процессов

При классификации коррозионных процессов, характерных для конструктивных элементов машин, используются следующие классификационные признаки:

– механизм взаимодействия материала со средой;

– характер коррозионной среды;

– условия протекания процесса коррозии;

– характер разрушения металла.

По механизму взаимодействия материала со средой различают химическую и электрохимическую коррозии.

Химическая коррозия протекает в неэлектрических средах и заключается во взаимодействии металла с компонентами этих сред. Закономерности протекания химической коррозии те же, что и в процессе окисления металлов. На поверхности металла образуется пленка кислорода, адсорбированного или на чистой поверхности (химическая адсорбция), или молекулы кислорода закрепляются на поверхности предыдущего слоя (физическая адсорбция), или увеличивается толщина пленки окисла (реакция окисления).

Химическая коррозия развивается как в газовой, так и жидкой среде. Примером химической коррозии в газовой среде могут служить детали цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания, конструктивные элементы системы выпуска отработавших газов.

Коррозия в жидкой среде происходит при воздействии на металл агрессивных органических веществ: жидких топлив, растворителей, смазочных масел.

Скорость химического коррозионного разрушения зависит от химической активности и температуры среды, а также коррозионной стойкости материалов деталей. С повышением температуры коррозионные процессы разрушения металла активизируются.

Электрохимическая коррозия развивается при воздействии на металл электропроводной среды – раствора электролита.

Процесс электрохимической коррозии можно рассматривать как результат работы коррозионных гальванических элементов взаимодействия металла с электролитом (водой, водными растворами солей, кислот, расплавов солей).

В подавляющем большинстве случаев коррозионное разрушение деталей машин протекает по электрохимическому принципу. На поверхности конструктивного элемента образуется множество микрогальванических пар, взаимодействие которых и приводит к разрушению металла. На отдельных участках поверхности детали образуются катодные участки, на которых идет восстановление окислителей, находящихся в растворе электролита. На остальной поверхно-

сти детали, чаще всего на неровностях, локализуются анодные участки, на которых происходит растворение металла.

Наряду с образованием микрогальванических пар на поверхности одной детали подобные пары возникают и между сопряженными деталями, изготовленными из разных металлов. Анодом в такой микрогальванической паре становится металл с отрицательным по отношению к материалу другой детали потенциалом.

Некоторые сплавы, в частности стали различного химического состава, подвергаются межкристаллитной коррозии. Из-за неоднородности сплавов в их структуре имеются участки, на границах кристаллов которых возникают неодинаковые электрические потенциалы. В результате отдельные кристаллитные зерна выступают в роли анодных, а другие – катодных участков. Возникают электрохимические процессы разрушения металла, которые приводят к точечному разъеданию анодных участков.

Интенсивность электрохимической коррозии зависит главным образом от скорости диффузии окислительных компонентов к поверхности металла, химических и электрохимических реакций. Скорость этих реакций обусловливается энергией активации взаимодействия металла с коррозионной средой, разницей потенциалов на их границе.

Разность потенциалов, например, на границе капли атмосферной влаги и поверхности металла достигает 6 В.

Из всех видов коррозии только при газовой не возникает электрический ток, так как в этой среде отсутствует разница потенциалов, т.е. $U_с – U_м = 0$.

По характеру внешней среды, действующей на конструктивные элементы машин, различают атмосферную, газовую, жидкостную и биологическую коррозию. Для большинства деталей машин причиной коррозионного разрушения является именно атмосферная коррозия.

Потери металла вследствие атмосферной коррозии составляют более половины общих потерь металла из-за коррозионного разрушения.

Атмосферной называют коррозию, возникающую под действием на металл атмосферного воздуха и содержащихся в нем твердых частиц различных примесей и влаги. Процесс разрушения металла при атмосферной коррозии носит электрохимический характер, интенсивность которого зависит от состава и температуры атмосферного воздуха, концентрации содержащихся в нем примесей. Растворенные в конденсате влаги на поверхности деталей примеси, содержащие серу, сернистый газ, сероводород и другие химические элементы, активизируют электрохимические процессы.

На интенсивность разрушения металла при атмосферной коррозии оказывает существенное влияние и температура окружающего воздуха.

При повышенных температурах, особенно в сочетании с высокой влажностью, коррозионные процессы разрушения деталей активизируются.

В зависимости от толщины пленки влаги на поверхности металла атмосферную коррозию можно условно подразделить на сухую, влажную и мокрую.

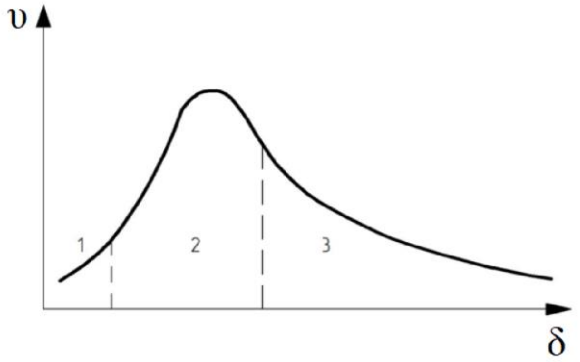


Рис. Зависимость скорости атмосферной коррозии υ от толщины пленки влаги δ на поверхности металла: 1 – поверхность сухая; 2 – влажная; 3 – мокрая

При сухой коррозии на металле под действием кислорода или сероводорода воздуха происходит окисление металла. На поверхности детали образуются невидимые глазом тончайшие окисные пленки по принципу химической коррозии. Такая коррозия вследствие слабой интенсивности процесса оказывает минимальное влияние на долговечность деталей.

Атмосферную коррозию, протекающую при относительной влажности менее 98 % под конденсационными пленками влаги (до 1 мкм), называют влажной. В условиях такой коррозии процесс взаимодействия металла со средой приобретает электрохимический характер.

При этом скорость коррозионного разрушения поверхности металла резко возрастает с увеличением толщины пленки.

Атмосферную коррозию, протекающую при относительной влажности выше 98 % в условиях капельной конденсации или прямого попадания атмосферных осадков на поверхность металла с образованием пленок влаги, толщина которых превышает 1 мкм, называют мокрой.

По своему механизму процесс подобен электрохимической коррозии.

Скорость мокрой коррозии несколько ниже, чем влажной, так как слой жидкости затрудняет диффузию кислорода в поверхность металла. При полном погружении металла в воду скорость коррозии еще меньше.

В реальных условиях эксплуатации машин влажность, температура, агрессивность окружающей среды могут изменяться в широком диапазоне значений, поэтому разделение атмосферной коррозии на сухую, влажную и мокрую достаточно условно. Обычно встречаются промежуточные виды атмосферного коррозионного воздействия на поверхности деталей.

Газовая коррозия является частным случаем химической коррозии и протекает при отсутствии пленок влаги на поверхности детали.

Такой вид коррозии возникает в активных газовых средах при повышенной температуре. В таких условиях работают, например, цилиндры, поршни, клапаны, выхлопные трубы двигателей внутреннего сгорания. Агрессивными свойствами при этом обладает не только кислород, но и пары воды, углекислота, сернистый газ, хлор, сероводород.

При газовой коррозии клапанов и выхлопной трубы происходит процесс образования окалины, который усиливается по мере роста температуры нагрева. При циклических изменениях температуры в окалине возникают внутренние напряжения, которые обусловлены большой разницей коэффициентов линейного расширения (у окалины он намного меньше, чем у металла). В результате окалина разрушается.

Жидкостная коррозия металлов в зависимости от вида жидкой среды может носить как химический, так и электрохимический характер. В неэлектропроводящей среде (неэлектриках) жидкостная коррозия развивается по химическому варианту взаимодействия металла с агрессивными компонентами жидкости. Коррозионная активность таких жидкостей (топлива, смазочных масел) зависит от содержания в них серы, агрессивных продуктов окисления смазочных масел, хлора и других активных элементов присадок.

Процесс коррозионного разрушения в электропроводящих жидкостях (вода, водные растворы) принимает электрохимический характер. Электрохимические реакции возникают, например, в системе охлаждения двигателей с образованием накипи, которая ухудшает теплообмен между стенками блока цилиндров и охлаждающей жидкостью. Это в свою очередь приводит к снижению мощности двигателя, увеличению расхода топлива и масла.

Биологическая коррозия представляет собой процесс разрушения поверхностей металлов продуктами жизнедеятельности различных микроорганизмов (бактерий, грибков, плесени). Механизм разрушения при таком виде коррозии носит в основном электрохимический характер.

Продуктами жизнедеятельности микроорганизмов являются сера, сероводород, гидроокись железа, нитриды. Эти вещества обладают определенной коррозионной агрессивностью и стимулируют процессы разрушения металлов. Наибольшую интенсивность биокоррозионного разрушения вызывают бактерии, возникающие чаще всего на увлажненной поверхности металла в широком диапазоне температур.

По условиям протекания процессов коррозия подразделяется на контактную, щелевую, структурную, коррозию под напряжением и фреттинг-коррозию.

Контактная коррозия возникает при контакте разнородных металлов, имеющих разные электродные потенциалы. При погружении или смачивании контактов электролитами процесс коррозионного разрушения интенсифицируется. При этом преимущественное коррозионное разрушение происходит на поверхности детали с более электроотрицательным потенциалом, являющейся в данных условиях анодной.

Разрушение другой поверхности с электроположительным потенциалом (катодной) постепенно замедляется или прекращается. Контактная коррозия проявляется и в однородных металлах, соединенных между собой болтами, заклепками, сваркой или пайкой.

Щелевая коррозия протекает в узких зазорах контактирующих поверхностей металлических деталей по механизму электрохимического процесса. Интенсивность развития такого вида коррозии зависит от глубины и ширины щели, а также отношения объема щели к ее поверхности. С уменьшением ширины щели скорость коррозии возрастает. Причина щелевой коррозии – образование градиента концентраций агрессивного компонента внутри и вне щели. Это ведет к образованию коррозионной пары и ускоренному растворению анодного участка.

Щелевая коррозия возникает и в местах неплотного контакта между металлической и неметаллической поверхностями. Такому виду разрушения подвержены клапанные механизмы, калиброванные дозирующие устройства, гильзы цилиндров под резиновыми уплотнительными манжетами и др.

Структурная коррозия возникает в связи с изменением структуры металла, нарушением его неоднородности. В основе такого коррозионного разрушения лежит факт образования новых фаз по границам зерен. Прежде всего это карбиды металла, которые служат катодными участками, а окружающие участки остального металла – анодные. В окислительных средах происходит интенсивное растворение продуктов коррозии в пограничных зонах между зернами (анодных участках).

Коррозия под напряжением протекает при одновременном воздействии коррозионной среды и механических напряжений, приводящих к деформации металла. В процессе деформирования металла снижается его термодинамическая стабильность, нарушается защитная пленка на поверхности, что способствует активизации процесса коррозии. Такому виду коррозии подвержены оси автомобилей, рессоры, клапаны двигателей внутреннего сгорания.

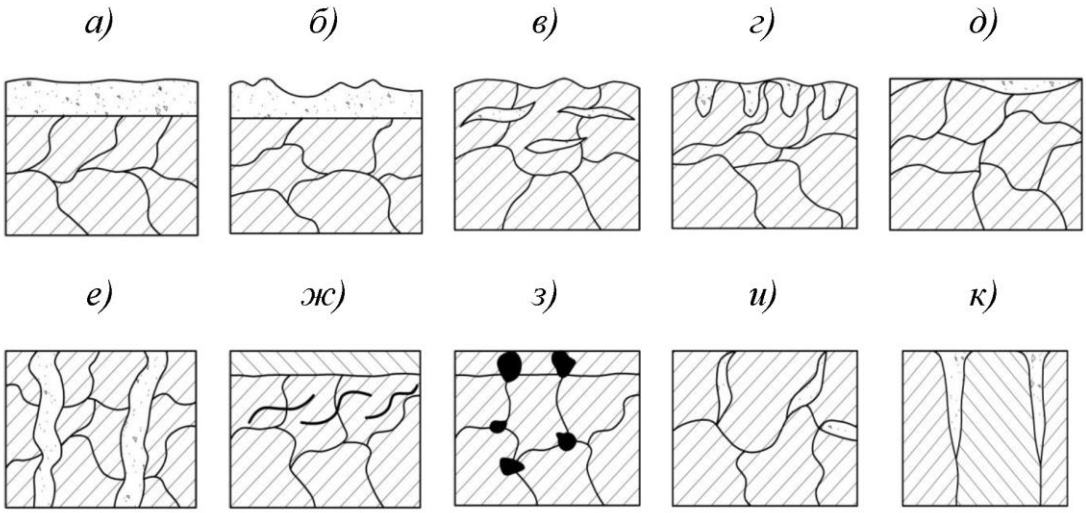
Фреттинг-коррозия развивается в конструктивных элементах, работающих в условиях прессовых посадок, когда под воздействием нагрузок и вибраций происходит проскальзывание одной поверхности относительно другой, контактирующей с ней. В результате такого взаимодействия появляются коррозионные язвы, а между поверхностями мелкие зерна оксидов. Процесс сопровождается локальными выделениями тепла, что приводит к химическому изменению в смазочном материале, их окислению и смолообразованию.

Фреттинг-коррозия может привести к ослаблению натяга контактирующих поверхностей или, наоборот, к их заклиниванию, если продукты коррозионного разрушения не имеют выхода из зоны контакта.

Кроме того, в зависимости от механических характеристик поверхностей и напряженности соединение фреттинг-коррозия снижает предел выносливости металла в 2 – 3 раза.

По характеру разрушения в зависимости от степени охвата поверхности детали коррозия бывает сплошной, которая охватывает всю поверхность детали, и местной, поражающей ее отдельные участки.

В зависимости от характера распространения и формы разрушения коррозия подразделяется на следующие виды:



а – равномерную, развивающуюся с одинаковой скоростью по всей поверхности металла;

б – неравномерную, протекающую на разных участках поверхности с различной скоростью;

в – подповерхностную, распространяющуюся под поверхностью;

г – точечную в виде отдельных точечных коррозионных поражений, диаметр которых меньше глубины проникновения;

д – в виде отдельных коррозионных пятен, диаметр которых значительно превышает глубину проникновения;

е – сквозную, вызывающую разрушение металла насквозь;

ж – нитевидную, распространяющуюся в виде нитей преимущественно под неметаллическими защитными покрытиями;

з – структурную, связанную со структурной неоднородностью металла;

и – межкристаллитную коррозию, которая распространяется по границам кристаллов металла;

к – ножевую, распространяющуюся на участках сплавления (сварки) металлов деталей, работающих в агрессивных средах.

Любое коррозионное повреждение материала конструктивного элемента снижает его долговечность. Наибольшую опасность для функционирования машины представляет местная (локальная) коррозия, так как при сравнительно небольшой потере металла все прочностные характеристики деталей снижаются. Конструктивные элементы, работающие в условиях переменных нагрузок и имеющие локальные коррозионные повреждения, теряют свою усталостную прочность.

Коррозионное повреждение трущихся поверхностей деталей существенно снижает их износостойкость. Из-за развития коррозионных процессов деталей теряется прочность прессовых посадок.

Количественными показателями оценки коррозионного разрушения служат:

- глубина проникновения и размеры очага коррозии;
- число коррозионных очагов в течение заданного времени;

- изменение массы детали, отнесенной к единице поверхности и единице времени;

- скорость распространения коррозии и др.

Для ответственных элементов конструкции машин наиболее эффективный показатель оценки коррозии – глубина ее проникновения в материал детали. В целом ряде исследований приведены достаточно убедительные данные о влиянии глубины коррозионных каверн на существенное (до 50 %) снижение предела усталости, вполне сопоставимой со снижением усталостной выносливости от надрезов и других концентраторов напряжения. На рисунке показан пример очага коррозии крыла автомобиля по глубине и ширине поражения после заданного периода эксплуатации в условиях внешней агрессивной среды. Измерения проводились с помощью специального прибора с разрешающей способностью 0,25 мкм.

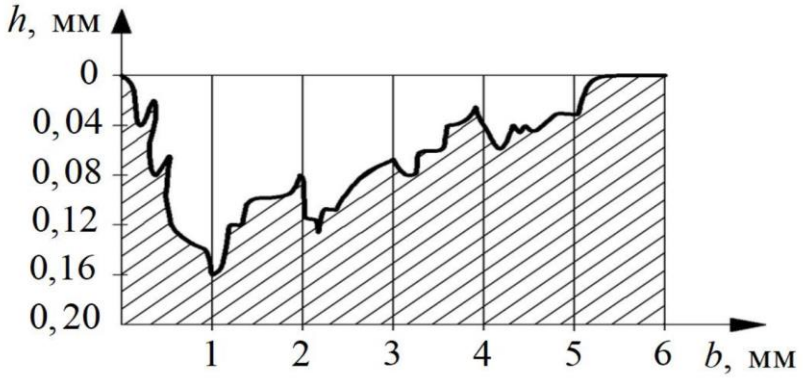


Рис. Очаг коррозионного разрушения на крыле автомобиля:
h, b – глубина и ширина каверны

Факторы, влияющие на развитие коррозионных процессов

На характер и скорость протекания коррозионных процессов оказывает влияние множество разнообразных факторов, которые обусловлены состоянием и химическим составом металла, технологией изготовления деталей, условиями эксплуатации и т.д. Условно их можно разделить на четыре группы:

- характеризующие состояние металла;
- характеризующие конструктивное исполнение деталей;
- технологические;
- эксплуатационные.

К важнейшим факторам, характеризующим состояние металла, относятся их термодинамическая устойчивость, соотношение компонентов в составе, структура, неоднородность поверхностного слоя, внутренние остаточные напряжения. Большинство металлов в воздушной среде и водных растворах электролитов термодинамически неустойчиво. Коррозионные процессы протекают в них самопроизвольно. Поэтому для повышения коррозионной стойкости используют легирование металлов более стойкими к коррозии элементами.

Снижению коррозионной стойкости металлов способствует электрохимическая неоднородность их поверхности, причины которой – наличие металли-

ческих и неметаллических электропроводных макровключений, контакт разнородных материалов, неоднородность защитных пленок и т.п.

К конструктивным факторам относятся: конструкция деталей и сопряжений (наличие застойных зон, зазоров, щелей); контакт металлов, имеющих различные электродные потенциалы; характер соединения элементов конструкции (сварное, резьбовое, щлицевое, заклепочное и др.); концентрация напряжений; характер нагружения.

Контакты металлов с различными электродными потенциалами (например, коррозионностойкая сталь – алюминиевый сплав, коррозионностойкая сталь – оцинкованная поверхность, алюминиевый сплав – кадмиевое покрытие и др.) способствуют возникновению и развитию коррозионных процессов. Контакт металла с полимерным материалом нередко приводит к возникновению коррозии в результате выделения коррозионно-активных ингредиентов из полимера, удержания им влаги и растворения в ней агрессивных реагентов.

Существенное влияние на коррозионный процесс оказывает характер соединения деталей в конструкции. Все виды соединений, выполненные с дефектами, содержат застойные зоны (щели и зазоры), в которых удерживается электролит и накапливаются продукты износа.

Особую опасность представляют неконтролируемые застойные зоны, скопление электролита в которых приводит к интенсивному развитию локальной коррозии. Коррозия в таких местах обнаруживается обычно после образования сквозных разрушений металла.

Из технологических факторов наиболее существенное влияние на развитие коррозионного процесса оказывает включение в металл различных примесей в процессе изготовления деталей. Они попадают в материал детали в процессе получения полуфабрикатов (литье, обработка давлением и др.); при обработке поверхностей (механической, химико-термической, электрохимической и т.п.), соединении элементов конструкции (дефекты сварки, пайки и др.).

Большое влияние на развитие коррозионных процессов оказывают эксплуатационные факторы: продолжительность эксплуатации, температура и диапазон ее изменения, состав атмосферы, характер загрязнения поверхностей, внешние нагрузки, наличие стимуляторов (ингибиторов) коррозии, солнечная радиация.

Коррозию на открытых и доступных поверхностях деталей возможно своевременно выявить, поэтому могут быть приняты необходимые меры к прекращению или снижению интенсивности процесса. При эксплуатации машин следует контролировать и при необходимости восстанавливать защитные покрытия, удалять продукты коррозии, загрязнения и влагу с поверхностей деталей.

Методы защиты деталей от коррозии

Методы защиты деталей от коррозии направлены на устранение или снижение активности факторов, способствующих развитию коррозионных процессов. Условно их можно подразделить на три группы:

- методы воздействия на металл;

- методы воздействия на среду;
- комбинированные методы.

Из первой группы наибольшее распространение получили методы нанесения защитных покрытий, повышения коррозионной стойкости металлов, использование деталей из полимерных материалов.

В настоящее время при изготовлении конструктивных элементов машин широко используются защитные покрытия, наносимые на их поверхности. Повышение коррозионной стойкости деталей достигается такими методами, как:

- погружение в ванну с расплавленным металлом (оцинкование, лужение, свинцевание);
- химико-термическая обработка (цементация, азотирование, цианирование);
- гальваническое покрытие (твердое хромирование, блестящее оцинкование, кадмирование и др.);
- диффузия в верхний слой металла (алитирование, диффузионное хромирование);
- химическая обработка поверхности металла (оксидирование, фосфатирование, хроматирование).

Большую роль в защите машин от коррозии играют лакокрасочные покрытия (ЛКП). Особенно эффективны такие покрытия в качестве внешнего защитно-декоративного слоя в сочетании с металлическими покрытиями. ЛКП представляет собой сложное комбинированное покрытие, каждый слой которого имеет свое назначение и требует выполнения ряда технологических операций. Получение, например, надежного коррозионностойкого ЛКП кузова или кабины автомобиля включает в себя следующие процессы:

- обезжиривание поверхности с помощью водных щелочных препаратов (КМ-1, МС-15 и др.);
- фосфатирование – процесс химической обработки с целью получения на поверхности прочного неэлектропроводного покрытия;
- грунтование – служит для образования связующего слоя между подложкой и последующими слоями покрытия;
- шпатлевание, предназначенное для выравнивания мелких дефектов на загрунтованных поверхностях;
- окрашивание – завершающая стадия покрытия.

Наибольшее распространение для окончательной окраски получили синтетические эмали марок МЛ, обеспечивающие высокие физико-механические свойства и качество покрытий. Окрашенные такими эмалями поверхности отличаются повышенным блеском, способностью длительное время сохранять свои свойства при эксплуатации в разных климатических условиях.

Перспективный метод снижения коррозионных повреждений деталей – использование при их изготовлении металлов повышенной коррозионной стойкости (легированные стали и чугуны, алюминиевые сплавы и др.), а также различных пластических и композиционных материалов.

К методам защиты машин от коррозионного воздействия среды относятся прежде всего герметизация сопряжений; максимальное сокращение застойных зон, щелей, зазоров; очистка атмосферного воздуха от загрязнений; поддержание оптимальных температурных режимов; введение качественных противокоррозионных присадок в состав смазочных материалов. При эксплуатации машин для снижения интенсивности развития коррозионных процессов необходимо постоянно контролировать и своевременно восстанавливать поврежденные защитные покрытия.

При отсутствии желаемого эффекта от раздельного применения методов воздействия на металл и агрессивную среду используют комбинированные методы, основанные на комплексном воздействии на металл и среду. Комплексная защита направлена на решение двух основных задач. Первая заключается в оптимизации выбора коррозионностойких металлов и сплавов, нанесении защитных покрытий, вторая – в обеспечении контроля и управления защитой от коррозии в эксплуатации.

Законы суммирования повреждений и их параметры.

В процессе эксплуатации элементы конструкции, как правило, испытывают разные по величине нагрузки. Встает задача определения долговечности при нестационарных нагрузках.

На каждом цикле нагружения деталь получает небольшое повреждение, сумма которых, в конце концов, приводит к разрушению детали. Введем параметр ω, называемый повреждаемость материала. Примем, что до начала нагружения ω = 0 — нет повреждения, в момент разрушения ω =1.

Особенности накопления повреждений изучались многими исследователями, предложившими различные гипотезы их суммирования. Каждая из них справедлива лишь для определенных видов нагружения. Обычно в расчетах используют гипотезу линейного накопления повреждений.

Объясним суть этой гипотезы. Пусть для данного образца или детали построена усталостная кривая, тогда при максимальном напряжении цикла σ_i разрушение произойдет после N_i циклов. Если реальное число циклов $N < N_i$, то принимают величину повреждения пропорционально отработанному числу циклов

$$\omega = N / N_i.$$

Нак опленное повреждение после нескольких уровней нагружения различными нагрузками

$$\omega = \sum N / N_i$$

В момент разрушения, согласно линейной гипотезе, ω =1. Однако на практике ω = a, где a принимает значения от 0,25 до 4. Существуют эмпирические формулы для поправки для отдельных режимов нагружения.

Линейная гипотеза очень неточная, но и другие гипотезы не лучше. Все они дают удовлетворительные результаты лишь для отдельных режимов нагружения.

При случайном нагружении, которое часто встречается на практике, линейная гипотеза дает хорошие результаты при а =1, в других случаях используют эту гипотезу с учетом поправки а.

Обычно весь срок службы детали делят на временные блоки (допустим 1 час нагружения) и гистограмму нагружения строят для одного блока нагружения. Далее по усталостной кривой определяется число циклов до разрушения на каждом уровне нагрузки.

3. РЕСУРСНОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Техническое диагностирование – процесс определения технического состояния объекта без разборки или при минимальной разборке. Безразборное диагностирование проводится по внешним признакам неисправностей (дымность, шумы, характер работы двигателя), по показаниям контрольных приборов, диагностическими приборами с использованием специальных диагностических разъемов. Минимальная разборка подразумевает снятие отдельных деталей, таких как свечи зажигания или форсунки, отсоединение масло- и топливопроводов.

Диагностирование машин позволяет определять техническое состояние агрегатов, механизмов и систем машины без их разборки или с частичной разборкой и прогнозировать сроки службы составных частей машины. Благодаря диагностированию появляется возможность управлять техническим состоянием машин, выполняя соответствующие предупредительные работы в процессе ТО и ремонта.

Основными задачами технического диагностирования являются:

- контроль технического состояния для установления соответствия значений параметров требованиям технической документации;
- поиск места и причин отказа или неисправности;
- прогнозирование остаточного ресурса.

Для каждой диагностируемой машины устанавливаются *диагностические параметры*, используемые для определения технического состояния машин (температура, шум, вибрация, давление, напряжение, сила тока и др.). Технической документацией устанавливаются номинальные, допускаемые и предельные значения этих параметров.

Номинальное значение параметра – исходное значение, установленное технической документацией для новой или капитально отремонтированной машины.

Допускаемое значение параметра – значение, при котором составную часть машины после контроля допускают к эксплуатации без выполнения операций ТО или ремонта, т. е. она может надежно работать до следующего планового контроля.

Предельное значение параметра – значение параметра, достижение которого определяет необходимость выполнения операций ТО или ремонта, иначе может произойти отказ (поломка) объекта диагностирования.

Ресурсное диагностирование осуществляют для определения остаточного ресурса составных частей и агрегатов машины. При этом контролируют ресурсные параметры, предельные значения которых обусловливают необходимость проведения ремонта агрегата. Ресурсными параметрами двигателя являются зазоры в соединениях гильза – поршень, в коренных и шатунных подшипниках, а также расход газов, прорывающихся в картер.

Методы диагностирования подразделяют на две группы: органолептические (субъективные) и инструментальные (объективные).

Измерения параметров технического состояния **инструментальными методами** производят с использованием диагностических средств.

По характеру измерения параметров инструментальные методы подразделяются на прямые (непосредственное измерение) и косвенные (по диагностическим параметрам) методы.

Прямые методы основаны на измерении параметров технического состояния непосредственно прямым измерением. Например, зазор между клапаном и бойком коромысла измеряется щупом, прогиб ременных и цепных передач – линейкой, размеры деталей – штангенциркулем, микрометром и т. д.

Косвенные методы основаны на определении параметров технического состояния агрегатов машин по диагностическим (косвенным) параметрам. Косвенные методы основываются на измерении значений физических величин, зависящих от технического состояния механизмов, систем и агрегатов машин. Например, износ деталей цилиндропоршневой группы двигателя определяется по снижению компрессии или увеличению расхода картерных газов, износ прецизионных пар топливных насосов и форсунок – по развиваемому давлению, степень загрязнения фильтра тонкой очистки – по перепаду давления на фильтре и т. д.

По физическому принципу инструментальные методы диагностирования делятся на пневматические, гидравлические, кинематические, электрические, энергетические, тепловые, виброакустические, оптические и др.

Пневматические методы диагностирования используются при оценке герметичности замкнутых полостей различных устройств – шин, топливных баков, радиаторов, камеры сгорания, цилиндропоршневой группы и головки блока цилиндров двигателей.

Пневматические методы просты и доступны, реализуются на базе несложных технических средств (манометры, вакуумметры, расходомеры, индикаторы герметичности). В качестве диагностических параметров используют величину давления или разрежения воздуха, время снижения давления или разрежения, расход газов через неплотности.

Гидравлические методы диагностирования используются при оценке работоспособности элементов топливной аппаратуры и гидросистем – топливных фильтров, топливных насосов, форсунок, масляных насосов, гидрораспределителей, гидроцилиндров, предохранительных и других клапанов.

Для диагностирования используются манометры и дроссели-расходомеры. В качестве диагностических параметров используют величину давления топлива или масла, время снижения давления, подачу или расход.

Кинематические методы диагностирования основаны на измерении относительного перемещения деталей, изменения их относительного положения, геометрии деталей. Они используются при контроле зазоров в подшипниковых узлах, зубчатых передачах и шлицевых соединениях, механизме газораспреде-

ления двигателя, кривошипно-шатунном механизме, рулевом управлении, механизмах управления сцеплением и тормозами.

Кинематические методы включают в себя контроль зазоров в соединениях, суммарных зазоров в кинематической цепи, радиальных, торцевых и угловых перемещений валов механизмов, несоосности и непараллельности. Для измерения используют средства линейных и угловых измерений (индикаторы часового типа, угломеры, щупы). В процессе измерения перемещение подвижной детали (например, вала) должно осуществляться с усилием, не приводящим к упругим деформациям.

Электрическими методами диагностируют электрооборудование машины, для чего измеряют силу тока, напряжение или сопротивление в цепи. Кроме того, используемые в конструкции машины датчики преобразовывают механические или физические параметры в электрические.

Виброакустические методы диагностирования основаны на регистрации упругих колебаний, возникающих в механизмах при соударении деталей во время работы механизмов. При диагностировании они фиксируются датчиками, преобразующими механические колебания в электрические сигналы.

Энергия удара и амплитуда импульсов, формируемых при соударении, зависят от зазора между сопрягаемыми деталями. При увеличении зазора возрастает скорость в момент соударения. По величине амплитуды сигнала, моменту его появления и частоте косвенно оценивают величину зазора.

Метод может быть использован для оценки состояния различных механизмов и соединений, в которых происходят соударения деталей (подшипники качения и скольжения, зубчатые передачи, шлицевые соединения, кривошипно-шатунные механизмы, механизмы газораспределения, кулачковые механизмы, форсунки и т. д.). Однако датчик воспринимает колебания, поступающие от всех соединений механизма одновременно, поэтому при виброакустическом диагностировании сложной задачей является разделение сигналов и выделение сигнала от проверяемого соединения.

Средства диагностирования классифицируют по степени автоматизации, исполнению, универсальности и физическому принципу работы прибора.

По степени автоматизации средства диагностирования делят на механизированные, автоматизированные и автоматические.

По исполнению распространены переносные, передвижные и стационарные комплекты диагностических средств. Больше всего диагностических приборов и их комплектов имеется для контроля двигателей внутреннего сгорания, как наиболее сложных агрегатов машин.

По универсальности средства диагностирования могут быть универсальные, которые пригодны для контроля различных агрегатов (наборы щупов, манометры, индикаторы часового типа), или специализированные, способные выполнять узкий спектр диагностических операций (например, диагностирование гидросистемы), или пригодные только для машин одного производителя.

По физическому принципу работы приборы бывают механические (измеряют зазоры, биения, перемещения деталей и др.), пневматические, гидравли-

ческие (измеряют давление и расход газа или жидкости), электрические (измеряют силу тока, напряжение, сопротивление электрических цепей) и комбинированные (датчики, преобразующие механические, пневматические или гидравлические параметры в электрические сигналы).

Набор диагностических операций регламентирован технологическими картами на диагностирование. В них содержатся указания по проведению проверок, изложены технические требования и технические условия на диагностирование, даны номинальные, допускаемые и предельные значения диагностируемых параметров.

Операции, изложенные в технологических картах, выполняются в строгой технологической последовательности, обеспечивающей высокое качество результатов труда и полную загрузку исполнителей.

Результаты диагностирования машины заносят в *диагностическую карту* (рис. 2.1).

Утверждаю

_____

(должность, подпись)

« » 20 г.

Диагностическая карта машины

I. Общие сведения

Предприятие (хозяйство)_____ Дата_____ Марка машины _____
Государственный номерной знак_____ Год поступления машины_____
Вид последнего ремонта_____
Наработка от начала эксплуатации или от последнего ремонта, мото-часов_____

II. Заявка водителя о неисправностях

_____

III. Результаты внешнего осмотра и оценки качественных признаков состояния

_____

IV. Результаты измерения параметров состояния и выявленных неисправностей

№ п/п	Объект диагностирования и параметр состояния	Ед. измерения	Значение	Состояние объекта	Отметка о выполнении операции	Допускаемое значение параметра

V. Остаточный ресурс, моточасов

Двигателя		Ходовой части	
Трансмиссии		Гидропривода	
Тормозной системы		Рабочего оборудования	

VI. Заключение о виде, объеме и сроке ремонтно-обслуживающих работ _____ Мастер-диагност_____ (подпись)

В *разделе I* диагностической карты приводят общие сведения о машине: марку машины, государственный номерной знак, год поступления машины, вид последнего ремонта, наработку от начала эксплуатации или от последнего ремонта.

В *разделе II* диагностической карты приводят данные, полученные на основании опроса механизатора о работе механизмов и эксплуатационных неполадках. Полученные сведения учитывают при постановке диагноза о состоянии соответствующей составной единицы.

В *раздел III* заносят результаты внешнего осмотра. После внешнего осмотра составных частей машины запускают двигатель, прослушивают его, проверяют работу механизмов при движении трактора на различных передачах и результаты оценки качественных признаков состояния (цвет отработавших газов, характер работы двигателя и других механизмов и др.) также заносят в раздел III.

В *разделе IV* отмечают результаты инструментальных измерений систем и механизмов машины с указанием состояния объекта и необходимых операций (ремонт, обслуживание, замена).

На основе результатов измерений с учетом наработки агрегатов определяют остаточный ресурс, который по агрегатам отмечают в *разделе V*.

В *разделе VI* приводят заключение о виде, объеме и сроке ремонтно-обслуживающих работ по каждому продиагностированному агрегату машины.

Весь процесс диагностирования включает в себя подготовительный, основной и заключительный этапы.

Работы *подготовительного этапа* включают мойку и внешний осмотр машины, подготовку машины и диагностических средств к работе.

На *основном этапе* прогревают двигатель, задают требуемые режимы двигателю и другим агрегатам, измеряют диагностические параметры и анализируют состояние агрегатов.

На *заключительном этапе* снимают с машины диагностические средства, проводят регулировки и устраняют выявленные неисправности.

Ресурсное диагностирование цилиндропоршневой группы

Цилиндропоршневая группа работает в самых тяжелых условиях. Ее детали выполняют наиболее ответственные функции в рабочем процессе двигателя. Поршневые кольца и гильзы должны создавать достаточно герметичное рабочее пространство цилиндра, интенсивно отводить теплоту от поршней, маслосъемные кольца должны обеспечивать образование равномерной масляной пленки на трущихся поверхностях и не допускать попадания масла в камеру сгорания.

По мере изнашивания цилиндропоршневой группы, а также при закоксовывании колец или их поломке герметичность рабочего объема цилиндра становится недостаточной.

Утечки из-за нарушения герметичности ЦПГ приводят к уменьшению давления и температуры сжатого воздуха смеси в конце такта сжатия. Следствием этого являются затрудненный пуск (топливо не самовоспламеняется) и перебои в работе двигателя.

При сгорании топливовоздушной смеси газы под большим давлением прорываются в картер, откуда выходят в атмосферу через сапун. Из-за повышенного прорыва газов уменьшается давление их на поршень, что приводит к снижению мощности двигателя.

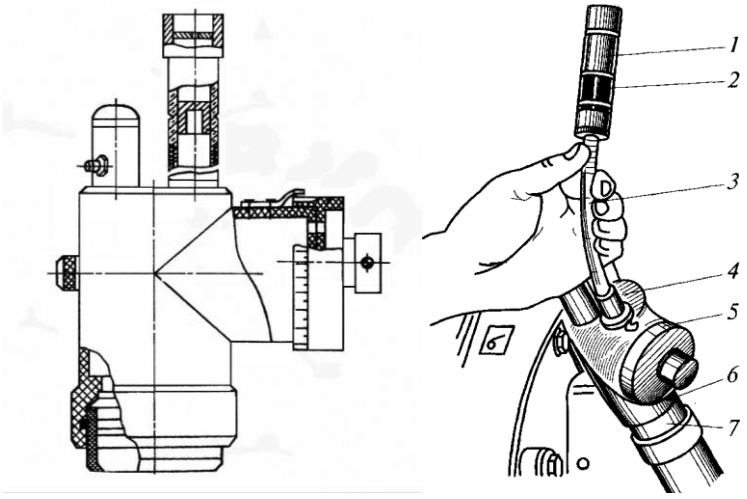
С износом деталей, потерей упругости колец увеличивается количество масла, проникающего в надпоршневое пространство и сгорающего там под действием высокой температуры.

Попадание масла в камеру сгорания вызывает образование нагара на днищах поршней и головке цилиндров и затрудняет отвод теплоты через стенки цилиндров. Сгорание масла изменяет цвет отработавших газов: они становятся синеватого цвета.

Диагностирование цилиндропоршневой группы по расходу картерных газов. Расход газов, прорвавшихся через зазоры цилиндропоршневой группы в картер двигателя, определяют индикатором КИ-13671 (рис. 2.3).

Индикатор состоит из корпуса *6*, к которому с помощью удлинителя *3* присоединен сигнализатор *1*. Нижней частью корпус индикатора вставляется в маслозаливную горловину двигателя.

Сигнализатор *1* представляет собой полый цилиндр из прозрачного органического стекла, внутри которого помещен эбонитовый поршень с риской в средней части. Замер производится при совпадении риски на поршне с риской на сигнализаторе.



а *б*

Рис. 2.3. Устройство индикатора КИ-13671 (*а*) и измерение расхода картерных газов индикатором КИ-13671 (*б*): *1* – сигнализатор; *2* – поршень сигнализатора; *3* – удлинитель; *4* – патрубок; *5* – крышка; *6* – корпус; *7* – переходник; *8* – шкала; *9* – колпачок

На боковой поверхности корпуса имеется выполненное по окружности отверстие-щель шириной 4 мм, которое перекрывается крышкой *5*. На крышке нанесена шкала *8* с делениями, по которой определяют величину расхода картерных газов.

На верхней поверхности корпуса также расположено отверстие, закрытое колпачком *9*, которое предназначено для увеличения проходного сечения индикатора.

Измерение расхода картерных газов проводят в следующем порядке. Двигатель прогревают до номинального теплового режима (85...90 °С), снимают крышку с маслозаливной горловины двигателя, герметизи-руют сапуны (затыкают шланги сапунов колышками) и отверстие под масломерную линейку.

Устанавливают индикатор в маслозаливную горловину, предвари-тельно убедившись в свободном перемещении поршня в сигнализато-ре. В сигнализаторе также не должно быть следов влаги, масла, частиц пыли. При измерении сигнализатор удерживают рукой в вертикальном положении.

Устанавливают номинальную частоту вращения коленчатого вала. Медленно вращают крышку индикатора. При этом открывается отвер-стие в корпусе, через него выходит часть картерных газов, и уменьша-ется давление на поршень сигнализатора. Рука, поворачивающая крышку, не должна препятствовать выходу газов через отверстие.

Фиксируют момент совпадения середины поршня с риской на кор-пусе сигнализатора (момент соответствует равновесию давления газов в картере и индикаторе) и определяют текущий расход газов по шкале, нанесенной на крышке.

Измерения проводят трижды и определяют среднее значение рас-хода газов. Сравнивают расход картерных газов с нормативными зна-чениями (табл.). Если измеренное значение превышает предельное, цилиндропоршневую группу ремонтируют.

Таблица. **Нормативные значения расхода картерных газов**

Марка трактора, комбайна	Марка двигателя	Номинальная частота враще-ния коленчатого вала, об/мин	Расход картерных газов, л/мин		
			номи-нальный	допус-тимый	предель-ный
Беларус-1523	Д-260.1	2100	65	110	140
Беларус-1221	Д-260.2	2100	60	100	130
Беларус-950/952	Д-245.5	1800	29	68	96
Беларус-80.1/82.2	Д-243	2200	28	68	95
УЭС-280 «Полесье»	ЯМЗ-238БК-3	1700	85	120	240
КЗС-1218 «Полесье»	ЯМЗ-238ДЕ-22	1700	90	130	240
КВК-800 «Полесье»	Д-280-152	2100	90	120	230

После окончания диагностирования необходимо разгерметизиро-вать сапуны и закрыть маслозаливную горловину двигателя.

Диагностирование цилиндропоршневой группы по компрессии в цилиндрах двигателя. Компрессия – физическая величина, характеризующая максимальное давление воздуха или топливовоздушной смеси в цилиндрах двигателя в конце такта сжатия, когда поршень находится в ВМТ.

От компрессии зависит эффективность процесса сгорания топлива, оказывающая существенное влияние на мощностные и экономические показатели двигателя. Давление для бензиновых и дизельных двигателей должно соответствовать значениям, указанным в табл.

Таблица. **Нормативные значения компрессии в цилиндрах двигателя**

Тип двигателя	Нормативное давление, МПа (кгс/см^2)	
	номинальное	предельное
Дизельный	2,8…4,0 (28…40)	2,2…3,3 (22…33)
Бензиновый карбюраторный	0,75...0,8 (7,5...8,0)	0,65 (6,5)
Бензиновый инжекторный	1,1...1,6 (11...16)	0,9 (9,0)

Снижение компрессии может быть вызвано износом гильз цилиндров, поршней и компрессионных поршневых колец, закоксовыванием поршневых колец, негерметичностью впускных и выпускных клапанов из-за прогорания клапанов, разрегулирования теплового зазора в клапанном механизме, короблением головки блока цилиндров, дефектами прокладки головки блока цилиндров, трещинами в головке блока цилиндров, нарушением герметичности уплотнений форсунок и др.

Внешние признаки неисправности – затрудненный пуск двигателя, неустойчивая работа его, падение мощности, наличие хлопков во впускном или выпускном тракте, увеличенный расход топлива и масла, синий (сизый) цвет отработавших газов.

Для проверки давления у двигателей используют компрессометры. Компрессометры для бензиновых двигателей вставляются конусным резиновым наконечником в свечное отверстие или вворачиваются в него с помощью резьбовых адаптеров.

а *б*

Рис. Компрессометры: *а* – для бензиновых двигателей;
б – для дизельных двигателей

Компрессометры для дизельных двигателей должны обязательно иметь адаптеры, компенсирующие объем вывернутой из цилиндра форсунки или свечи накала. Если адаптеры не использовать, то изменится объем камеры сгорания и компрессометр может показать низкую компрессию даже на исправном двигателе.

Измерение компрессии проводят в следующем порядке. Устанавливают рычаг переключения передач в нейтральное положение и затормаживают трактор или автомобиль стояночным тормозом.

Проверяют техническое состояние аккумуляторной батареи и стартера. Показания компрессометра зависят от частоты вращения коленчатого вала, и при разряженной аккумуляторной батарее (низкой частоте вращения стартера) прибор покажет низкую компрессию.

Выполняют техническое обслуживание воздушного фильтра, так как низкая компрессия может быть вызвана плохим наполнением цилиндров воздухом из-за загрязненного воздушного фильтра.

Проверяют тепловой зазор между бойком коромысла и торцом стержня клапана, так как увеличение теплового зазора приводит к меньшему открытию клапанов и ухудшению наполнения цилиндра воздухом, а уменьшение зазора может привести к неполному закрытию клапана и снижению герметичности камеры сгорания.

Запускают двигатель и прогревают его до номинального теплового режима (85...90 °С). У бензинового двигателя снимают наконечник с катушки зажигания для предотвращения образования искры и выхода катушки зажигания из строя, снимают наконечники проводов со свечей зажигания и отключают подачу топлива, чтобы топливо не смывало масло со стенок цилиндра. У дизельного двигателя отключают подачу топлива.

Очищают ветошью и продувают сжатым воздухом углубления для свечей зажигания или форсунок в головке блока цилиндров, выворачивают все свечи зажигания или форсунки. Проворачивают коленчатый вал двигателя стартером до прекращения появления из камеры сгорания цилиндров следов копоти.

Присоединяют адаптер компрессометра к свечному или форсуночному отверстию и, проворачивая коленчатый вал двигателя стартером в течение 5 с, фиксируют по манометру прибора максимальное давление в цилиндре. Для повышения точности измерения его проводят трижды.

У бензинового двигателя при измерении компрессии должна быть полностью открыта дроссельная заслонка (нажата до упора педаль управления дроссельной заслонкой).

Сбрасывают показание манометра, нажав пальцем на обратный клапан прибора, и проводят аналогичные измерения в остальных цилиндрах.

Разность показаний в отдельных цилиндрах не должна превышать 0,2 МПа для дизельных и 0,1 МПа для бензиновых двигателей.

Сравнивают полученные значения с нормативными. Неравномерность компрессии в цилиндрах дизельного двигателя допускается до 8 %. Резкое снижение (на 30...40 %) компрессии в цилиндре указывает на поломку поршне-

вых колец или залегание их в поршневых канавках и является ориентировочным показателем оценки технического состояния деталей цилиндропоршневой группы.

Кроме того, следует учесть, что снижение компрессии может быть вызвано причинами, не связанными с износом цилиндропоршневой группы:

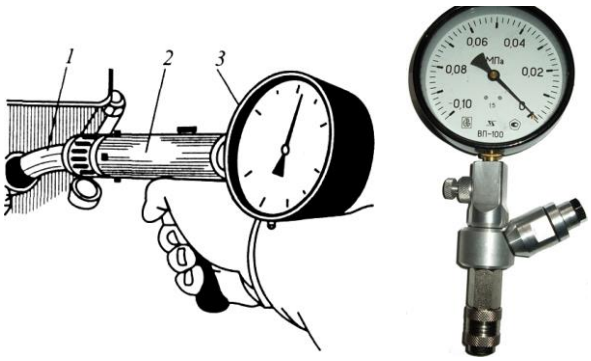
- негерметичностью впускных и выпускных клапанов в результате прогорания клапанов, разрегулирования теплового зазора в клапанном механизме, износа направляющих втулок клапанов, деформации стержня клапана;
- нарушением герметичности уплотнений форсунок и свечей зажигания;
- наличием трещин в головке блока цилиндров;
- короблением привалочной поверхности головки блока цилиндров;
- наличием дефектов прокладки головки блока цилиндров.

Для уточнения мест нарушения герметичности цилиндра необходимо открыть крышку расширительного бачка радиатора, крышку маслозаливной горловины или отсоединить входной патрубок впускного коллектора, подать сжатый воздух в форсуночное или свечное отверстие и по шуму выходящего воздуха или визуально определить место (или места) выхода воздуха;

- выход воздуха только из маслозаливного отверстия или гнезда масляного щупа свидетельствует о негерметичности цилиндропоршневой группы (износе или залегании поршневых колец, разрушении поршня);
- выход воздуха из впускной системы свидетельствует о негерметичности впускного клапана (прогорание или неправильная работа клапанного механизма);
- выход воздуха из глушителя свидетельствует о негерметичности выпускного клапана (прогорание или неправильная работа клапанного механизма);
- выход воздуха из соседнего свечного или форсуночного отверстия свидетельствует о негерметичности прокладки головки блока цилиндров или трещине в блоке цилиндров;
- воздушные пузырьки или резкое увеличение уровня жидкости в расширительном бачке радиатора свидетельствуют о негерметичности между блоком цилиндров и головкой блока цилиндров из-за прогорания прокладки, трещины в головке блока цилиндров или блоке цилиндров.

Оценка герметичности надпоршневого пространства цилиндров двигателя.

Негерметичность надпоршневого пространства цилиндров вызывает увеличение расхода топлива, снижение мощностных показателей, затрудняет пуск и приводит к неравномерной работе двигателя. Для определения неплотностей в соединениях кольцо – цилиндр и клапан – седло используют анализатор герметичности цилиндров КИ-5973 или АГЦ-2 (рис.).



а *б*

Рис. 2.5. Анализаторы герметичности цилиндров КИ-5973 (*а*) и АГЦ-2 (*б*):
1 – наконечник; *2* – корпус; *3* – вакуумметр

Анализатором герметичности цилиндров измеряется вакуумметрическое давление (разрежение), создаваемое при движении поршня вниз на такте расширения.

Для диагностирования цилиндропоршневой группы проводят подготовительные операции, аналогичные измерению компрессии.

Диагностирование выполняют при следующих вариантах измерения разрежения: при выпуске воздуха в атмосферу и при герметизации надпоршневого пространства.

При измерении разрежения с выпуском воздуха в атмосферу устанавливают в свечное или форсуночное отверстие переходник (входит в комплект прибора), в который вставляют наконечник прибора.

Проворачивая коленчатый вал стартером в течение 8...10 с, фиксируют по вакуумметру максимальное разрежение. Сбрасывают показание вакуумметра, нажав на выпускной клапан прибора, и проводят аналогичные измерения в остальных цилиндрах.

Для измерения разрежения при герметизации надпоршневого пространства выворачивают из корпуса прибора штуцер клапана сброса вакуумметра и извлекают клапанный узел с пружиной. Затягивают контргайку клапана изоляции надпоршневого пространства от атмосферы и собирают прибор в обратной последовательности. Устанавливают в свечное или форсуночное отверстие переходник и наконечник прибора и проводят измерения во всех цилиндрах.

Сравнивают измеренные значения с данными табл. и определяют возможные неисправности.

Оценка герметичности цилиндров пневмотестером.

С помощью пневмотестера определяется степень износа цилиндропоршневой группы, оценивается плотность прилегания клапанов к седлам, целостность прокладки головки блока цилиндров и т. д. путем анализа падения величины давления сжатого воздуха, подаваемого в цилиндр через свечное отверстие (на бензиновом двигателе) или отверстие для форсунки (на дизельном двигателе).

Таблица **Нормативные значения разрежения в цилиндре на такте сжатия**

Тип двигателя	Разрежение на такте сжатия, МПа (кгс/см^2)		Неисправность
	при выпуске воздуха в атмосферу	при изоляции надпоршневого пространства	
Дизельный	Более 0,078 (0,78)	Более 0,025 (0,25)	Предельный износ поршневых колец
	0,070...0,078 (0,70...0,78)	0,017...0,025 (0,17...0,25)	Предельный износ гильзы цилиндра
	Менее 0,07 (0,70)	Менее 0,017 (0,17)	Нарушение герметичности соединения клапан – седло
Бензиновый	Более 0,072 (0,72)	Более 0,036 (0,36)	Предельный износ поршневых колец
	0,064...0,072 (0,64...0,72)	0,028...0,036 (0,28...0,36)	Предельный износ гильзы цилиндра
	Менее 0,064 (0,64)	Менее 0,028 (0,28)	Нарушение герметичности соединения клапан – седло

Пневмотестер состоит из корпуса *1*, входного штуцера *2*, регулятора давления подаваемого воздуха *3*, манометра контроля входного давления *4*, поступающего от компрессора, манометра для измерения давления в надпоршневом пространстве цилиндра *5*, выходного штуцера *6* и штуцера продувочного канала *7*.

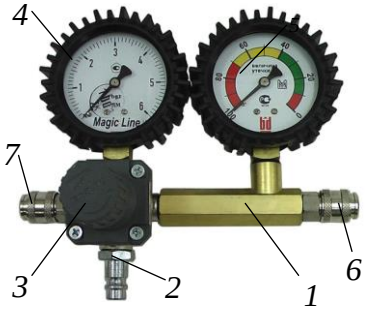


Рис. 2.6. Пневмотестер: *1* – корпус; *2* – входной штуцер; *3* – регулятор давления подаваемого воздуха; *4* – манометр для контроля входного давления; *5* – манометр для измерения давления в надпоршневом пространстве цилиндра; *6* – выходной штуцер; *7* – штуцер продувочного канала

В корпусе прибора имеется специальный жиклер, подобранный таким образом, что он способен пропускать через себя определенное фиксированное количество воздуха и создавать перепад давления на втором манометре, который фиксирует утечки воздуха через зазоры в цилиндре двигателя.

Процедура диагностики проводится при наличии компрессора, способного создавать давление в 0,6…1,0 МПа. Перед диагностированием прогревают двигатель до рабочей температуры и выворачивают свечи зажигания или форсунки. Устанавливают поршень проверяемого цилиндра в положение верхней мертвой точки в такте сжатия.

Подключают шланг пневмотестера (при необходимости с соответствующим адаптером) к свечному отверстию проверяемого цилиндра (на бензиновом двигателе) или к отверстию для форсунки (на дизельном двигателе), не подключая пока его к самому пневмотестеру.

Устанавливают регулятор давления подаваемого воздуха (левый манометр) на минимальную величину (во избежание выхода из строя манометров при подаче воздуха).

Подключают пневмотестер через входной штуцер к источнику сжатого воздуха (компрессору или пневмосети). К быстросъемной муфте пневмотестера подключают шланг, соединенный с тестируемым цилиндром. С помощью регулятора давления плавно увеличивают давление до рабочего, указанного в документации на прибор (0,1…0,6 МПа – в зависимости от марки прибора).

По цветной шкале правого манометра считывают показания давления в цилиндре. Шкала может быть отградуирована в единицах давления (МПа) или в процентах утечки от заданной величины давления подачи воздуха. Кроме того, на шкале нанесены цветные сектора, показывающие области хорошего, удовлетворительного состояния цилиндра и область критической утечки.

Отсоединяют пневмотестер и повторяют процедуру измерений для всех цилиндров. Перед отсоединением пневмотестера от цилиндра или от источника сжатого воздуха необходимо установить регулятор давления подаваемого воздуха на минимальную величину (во избежание выхода из строя манометров).

Сравнивают измеренные значения с данными табл. и определяют состояние цилиндров двигателя. Отклонение показаний по всем цилиндрам не должно превышать 10…15 %.

Таблица 2.4. **Состояние цилиндра двигателя в зависимости от величины утечек**

Величина утечки, %	Зона шкалы	Состояние цилиндра двигателя
10…40	Зеленая	**Хорошее состояние** – величина утечки соответствует новому двигателю или двигателю с хорошим техническим состоянием
40…70	Желтая	**Удовлетворительное состояние** – величина утечки достаточно велика, необходимо более детальное исследование для выявления места утечки, рекомендуется проведение ремонтных работ
70…100	Красная	**Критическая утечка** – в цилиндре присутствуют неисправности, наличие которых влечет необходимость капитального ремонта

Если величина утечек превышает 40…60 %, рекомендуется провести дополнительные исследования для выявления мест утечек по шуму выходящего воздуха.

Ресурсное диагностирование кривошипно-шатунного механизма. Детали кривошипно-шатунного механизма работают в условиях больших знакопеременных нагрузок. Основным фактором, влияющим на работу кривошипно-шатунного механизма, является зазор между шейками коленчатого вала и вкладышами (коренными и шатунными), а также между поршневым пальцем и втулкой верхней головки шатуна.

Суммарный зазор в сопряжениях кривошипно-шатунного механизма определяется суммой зазоров в нижней головке шатуна (между вкладышем и

шатунной шейкой коленчатого вала) и верхней головке шатуна (между втулкой шатуна и поршневым пальцем).

Суммарный зазор в сопряжениях кривошипно-шатунного механизма измеряется прибором КИ-11140 (рис. 2.7), который состоит из индикатора *1*, индикаторного штатива *2*, основания *3*, быстросъемного фланца *4*, наконечника *5*, оправки *6* и струны *7*.

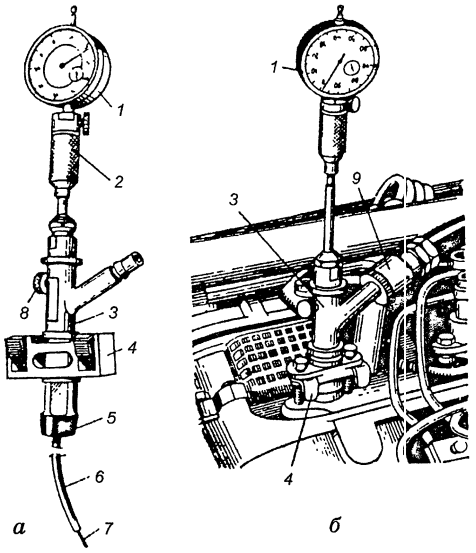


Рис. 2.7. Прибор КИ-11140 (*а*) и его применение (*б*): *1* – индикатор; *2* – индикаторный штатив; *3* – основание; *4* – быстросъемный фланец; *5* – наконечник; *6* – оправка; *7* – струна; *8* – винт; *9* – штуцер

Основание *3* предназначено для крепления с помощью винта *8* оправки *6* со струной *7* и сообщения надпоршневого пространства двигателя с рессиверами компрессорно-вакуумной установки.

Для крепления основания на двигателе необходимо плотно прижать его к форсуночному отверстию через фланец, надетый на шпильку, нажать на загнутый торец скобы, которая, входя во впадины резьбы, обеспечивает надежное крепление основания на двигателе.

Работа устройства КИ-11140 должна осуществляться от компрес-сорно-вакуумной установки, обеспечивающей давление воздуха 0,06...0,1 МПа и разрежение до 0,1 МПа.

Чтобы измерить зазоры, нужно с двигателя снять форсунки, устано-вить поршень проверяемого цилиндра в верхнюю мертвую точку на такте сжатия и застопорить коленчатый вал, закрепить устройство в головке вместо форсунки, предварительно ослабив стопор-ный винт и приподняв индикаторный штатив с индикатором, оправкой и струной вверх.

Затем опустить оправку до упора струны в днище поршня (с натя-гом) и зафиксировать ее стопорным винтом.

Далее следует присоединить распределительный трубопровод *2* компрессорно-вакуумной установки к штуцеру пневматического приемника устройства КИ-11140.

Включить компрессорно-вакуумную установку и при различных режимах работы, обеспечивающих создание в одном ресивере давления, а в другом –

разрежения воздуха, установить поворотом рукоятки редуктора давление на выходе из ресивера 0,06...0,1 МПа и разрежение не менее 0,06 МПа.

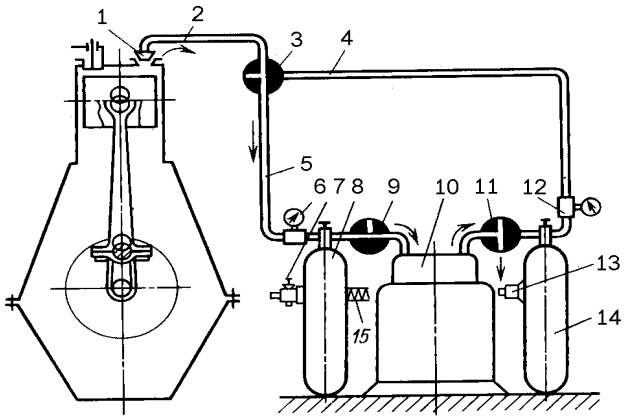


Рис. Компрессорно-вакуумная установка: *1* – наконечник; *2* – распределительный трубопровод; *3* – распределительный кран; *4* – нагнетательный трубопровод; *5* – всасывающий трубопровод; *6* – вакуумметр; *7* – вентиль; *8* – ресивер разрежения; *9, 11* – краны; *10* – компрессор; *12* – регулятор давления; *13* – предохранительный клапан; *14* – ресивер давления; *15* – регулятор вакуума

Давление контролируется по манометру, а разрежение – по вакуум-метру компрессорно-вакуумной установки.

С помощью крана *11* соединить ресивер *14* сжатого воздуха с надпоршневым пространством и настроить индикатор на нуль. Затем, соединив ресивер *8* разреженного воздуха с надпоршневым простран-ством, зафиксировать показание индикатора. Если суммарный зазор (табл. 2.5) хотя бы у одного шатуна превышает допускаемое значение, двигатель подлежит ремонту.

Таблица 2.5. **Номинальные и предельные зазоры в кривошипно-шатунном механизме**

Двигатель	Зазор в шатунном подшипнике, мм		Зазор в верхней головке шатуна, мм		Допустимый суммарный зазор, мм
	номинальный	предельный	номинальный	предельный	
Д-243	0,07…0,13	0,45	0,02…0,03	0,4	0,65
Д-245.5	0,07…0,13	0,45	0,02…0,03	0,4	0,65
Д-260.1	0,07…0,12	0,45	0,03…0,05	0,4	0,7
Д-260.2	0,07…0,12	0,45	0,03…0,05	0,4	0,7
Д-260.4	0,07…0,12	0,45	0,03…0,05	0,4	0,7
ЯМЗ-236	0,08…0,13	0,50	0,03…0,05	0,45	0,7
ЯМЗ-238	0,08…0,13	0,50	0,03…0,05	0,45	0,7

Переключая распределительный кран *3*, выполняют два-три цикла подачи давления и разрежения в надпоршневое пространство до полу-чения стабильных показаний индикатора.

Ресурсное диагностирование газораспределительного механизма

В процессе эксплуатации двигателя герметичность рабочего объема цилиндра может нарушаться также из-за неплотности прилегания клапанов вследствие подгорания их фасок и рабочих фасок гнезд в головке цилиндров, из-за негерметичности стыка головки и блока и прогорания прокладки, из-за нарушения теплового зазора между клапаном и его приводом.

В процессе эксплуатации двигателя происходит нарушение регулировки теплового зазора в клапанах.

При увеличенном зазоре сокращается продолжительность нахождения клапанов в открытом состоянии, это снижает наполнение цилиндра воздухом или топливовоздушной смесью, что приводит к снижению мощности двигателя. Кроме того, возрастает ударная нагрузка на сопряжение седло – клапан и происходит интенсивный износ бойка коромысла и стержня клапана, возникают стуки в зоне клапанного механизма.

При уменьшенном зазоре тарелки клапанов неплотно прилегают к седлам, что приводит к выгоранию фасок клапанов и седел и нарушению герметичности цилиндров.

По мере изнашивания зубчатых колес механизма газораспределения, подшипников и кулачков распределительного вала нарушаются фазы газораспределения, что приводит к снижению мощности двигателя или детонации при его работе.

Маслосъемные колпачки клапанов в процессе работы теряют свою эластичность, изнашиваются и перестают качественно снимать масло со стержня клапана. В результате масло по клапану попадает в камеру сгорания, что проявляется появлением из выхлопной трубы дыма сизого цвета и ведет к повышенному расходу масла.

Протекающее масло выгорает на раскаленных клапанах, и постепенно клапаны покрываются нагаром, каналы впуска и выпуска становятся уже, и двигатель постепенно теряет мощность из-за ухудшения наполнения цилиндров воздухом. Нагар может привести к падению компрессии, сбоям в работе двигателя (двигатель начнет троить), может прогореть выпускной клапан.

Внешними признаками неисправности газораспределительного механизма являются: стуки в зоне клапанного механизма, затрудненный запуск двигателя, снижение мощности двигателя и перебои в его работе, появление синего дыма.

Многовариантность причин, вызывающих одни и те же послед-ствия, обусловливает необходимость при поиске неисправности определенными действиями исключать из рассмотрения исправные составные части, пока не будет обнаружена неисправность.

При диагностировании газораспределительного механизма проверяется отклонение от номинальных значений тепловых зазоров между клапаном и бойком коромысла. При уменьшенном зазоре тарелки клапанов могут неплотно прилегать к седлам, что приводит к выгоранию фасок клапанов и седел и нарушению герметичности цилиндров, вследствие чего происходит падение мощности двигателя.

При увеличенном зазоре сокращается продолжительность нахождения клапанов в открытом состоянии. В результате возрастает удар-ная нагрузка в сопряжении седло – клапан, которая сопровождается металлическими стуками в газораспределительном механизме, происходит интенсивный износ бойка коромысла и стержня клапана.

Устанавливают перекрытие клапанов в первом цилиндре и проверяют (регулируют) зазоры в шестом цилиндре (для шестицилиндрового двигателя) или четвертом цилиндре (для четырехцилиндрового двигателя).

Проворачивая коленчатый вал на 60° ($^1/_3$ оборота) по ходу часовой стрелки для шестицилиндрового двигателя или на 90° ($^1/_2$ оборота) для четырехцилиндрового двигателя, устанавливают перекрытие клапанов в порядке работы цилиндров 1–5–3–6–2–4 (для шестицилиндрового двигателя) или 1–3–4–2 (для четырехцилиндрового двигателя) и регулируют зазоры в клапанах согласно схеме.

Перекрытие клапанов	**1**	**5**	**3**	**6**	**2**	**4**
Регулируемые клапаны	**6**	**2**	**4**	**1**	**5**	**3**

Перекрытие клапанов	**1**	**3**	**4**	**2**
Регулируемые клапаны	**4**	**2**	**1**	**3**

Рис. Порядок регулировки клапанов шестицилиндровых (*а*)
и четырехцилиндровых (*б*) двигателей за два оборота коленчатого вала

Щуп, толщина которого равна минимальному зазору, должен свободно проходить между бойком коромысла и торцом стержня клапана, а щуп толщиной, равной максимальному зазору, – плотно, с усилием. При несоответствии зазоров нормативным значениям проводят их регулировку.

Величина зазора между торцами стержней клапанов и бойками коромысел должна соответствовать значениям, указанным в табл.

Таблица. **Зазоры между торцом стержня клапана и бойком коромысла, мм**

Марка двигателя	Впускные клапаны		Выпускные клапаны	
	Проверка	Регулировка (номинальный)	Проверка	Регулировка (номинальный)
Д-243 и его модификации	0,20…0,35	0,25…0,30	0,20…0,35	0,25…0,30
Д-245 и его модификации	0,15…0,30	0,20…0,25	0,35…0,50	0,40…0,45
Д-260 и его модификации	0,15…0,30	0,20…0,25	0,35…0,50	0,40…0,45
Д-262 и его модификации	0,35…0,50	0,40…0,45	0,55…0,70	0,60…0,65
Д-263 и его модификации	0,35…0,50	0,40…0,45	0,55…0,70	0,60…0,65
ЯМЗ-236 и его модификации	0,20…0,35	0,25…0,30	0,20…0,35	0,25…0,30
ЯМЗ-238 и его модификации	0,20…0,35	0,25…0,30	0,20…0,35	0,25…0,30

Для проверки зазора между торцом стержня клапана и бойком коромысла приспособлением КИ-9918 его необходимо установить на тарелку клапана и отжимным кулачком перевести подвижную каретку *3* в верхнее положение. Приспособление должно быть за-жато между тарелкой клапана и коромыслом,

а усики подпружиненной подвижной каретки *3* – прижаты к бойку коромысла *4*.

Затем следует установить «0» шкалы индикатора *1* напротив стрелки и прижать пальцем боек коромысла к торцу стержня клапана. Стрелка индикатора остановится в положении, которое будет соответствовать тепловому зазору.

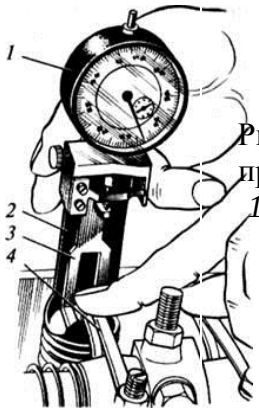


Рис. 2.14. Измерение зазора приспособлением КИ-9918: *1* – индикатор; *2* – корпус; *3* – подвижная каретка; *4* – коромысло

Ресурсное диагностирование топливной аппаратуры

На неисправность топливной аппаратуры указывают: затрудненный пуск двигателя и неустойчивая работа его, повышенная дымность отработавших газов, пониженные мощность и экономичность.

Затрудненный пуск двигателя происходит из-за наличия воздуха или воды в топливе, засорения фильтров грубой и тонкой очистки топлива, поломки пружин плунжеров, нагнетательных клапанов и форсунок, заедания рейки топливного насоса или муфты регулятора, неисправности подкачивающего насоса.

Снижение мощности двигателя указывает на недостаточный ход рычага управления топливным насосом, неправильно установленный угол опережения впрыска топлива, засорение фильтра тонкой очистки топлива, закоксовывание отверстий распылителя форсунки, износ или залегание иглы, износ прецизионных пар топливного насоса, неравномерность подачи топлива в цилиндры, износ механизмов регулятора, засорение воздухоочистителя двигателя, снижение давления наддува из-за неисправности турбокомпрессора.

Неустойчивая работа двигателя на холостом ходу происходит из-за попадания воздуха в топливную систему, нарушения регулировки пружины холостого хода в топливном насосе, неисправности топливного насоса высокого давления.

Причинами повышенной дымности на всех режимах работы являются неполное сгорание топлива из-за зависания иглы распылителя форсунки, плохое качество распыла топлива, слишком позднее впрыскивание топлива в цилиндры, чрезмерная подача топлива, а также недостаток воздуха при сильном засорении воздухоочистителя или неисправности турбокомпрессора.

По мере изнашивания деталей форсунки и снижения упругости пружины давление начала впрыскивания топлива уменьшается, а следствием этого являются увеличение объема впрыскиваемого топлива и угла начала впрыскивания, изменение мощности и экономичности. При значительном снижении давления

впрыскивания топливо может подтекать из распылителя после посадки иглы в седло, что приводит к его закоксовыванию, ухудшению качества распыливания, зависанию иглы. Закоксовывание проходных сечений распылителей определяет изменение пропускной способности и неравномерность работы двигателя.

Работоспособность системы питания нарушается также *при неисправности вспомогательных устройств* – бака, топливопроводов и их соединений. Топливо может плохо подаваться в систему из-за засорения отверстия (обычно в пробке), сообщающего бак с атмосферой. При этом по мере расхода топлива в баке создается разрежение, и топливо не подается в систему питания.

Пуск двигателя может быть затруднен из-за подсоса воздуха в систему питания, так как в каналах топливных фильтров и топливного насоса образуются воздушные пробки и топливо к форсункам поступает с перебоями или не поступает совсем.

Прекращение подачи топлива к топливному насосу высокого давления или подача его с перебоями и в недостаточном объеме наблюдаются также при засорении топливопровода (попадание сора, ниток, клочков обтирочных материалов, применяемых при обслуживании трактора).

В зимнее время причиной прекращения подачи топлива может быть образование в топливопроводах и отстойниках фильтров ледяных пробок при заправке топлива с примесью воды.

Многовариантность причин, вызывающих одни и те же последствия, обусловливает необходимость при поиске неисправности определенными действиями исключать из рассмотрения исправные составные части, пока не будет обнаружена неисправность.

Проверка состояния подкачивающего насоса, фильтра тонкой очистки топлива и перепускного клапана. Перед проверкой необходимо очистить топливный насос, корпус фильтров тонкой очистки топлива и топливопроводы, идущие от фильтра тонкой очистки до топливного насоса высокого давления и топливоподкачивающего насоса.

Необходимое давление в каналах низкого давления ТНВД, равное 0,12…0,19 МПа, обеспечивается перепускным клапаном. Избыточное топливо, подаваемое топливоподкачивающим насосом, через перепускной клапан поступает на слив в бак.

При неработающем двигателе перепускной клапан обеспечивает герметичность полости низкого давления ТНВД, что является необходимым условием для надежного запуска двигателя.

Топливоподкачивающий насос необходимо проверять при обслуживании топливного насоса высокого давления на регулировочном стенде через 2000 ч наработки. Для проверки герметичности топливоподкачивающего насоса во всасывающую трубку подают воздух под давлением 0,4 МПа. При перекрытой нагнетательной трубке не допускается утечка воздуха в течение 3 мин.

Также проверяют производительность топливоподкачивающего насоса и развиваемое им давление при частоте вращения кулачкового вала ТНВД 1000 мин$^{-1}$ (частоте вращения коленчатого вала 2000 мин$^{-1}$).

Производительность топливоподкачивающего насоса должна быть не менее 2,1 л/мин. Максимальное давление при полностью перекрытой нагнетательной трубке должно быть не менее 0,4 МПа, а разрежение при полностью перекрытой всасывающей трубке – не менее 0,052 МПа.

При невыполнении этих требований необходимо полностью разобрать топливоподкачивающий насос, заменить износившиеся или вышедшие из строя детали, притереть или заменить клапаны.

Для проверки состояния подкачивающего насоса, перепускного клапана и фильтра тонкой очистки топлива на двигателе применяют приспособление КИ-4801 (КИ-28140). Оно состоит из манометра, корпуса с клапаном для удаления воздуха из каналов, трехходового крана и двух шлангов (рис. 2.22). Для присоединения приспособления к системе топливоподачи применяют удлиненные штуцеры.

При проверке один шланг подсоединяют к нагнетательной магистрали подкачивающего насоса перед фильтром тонкой очистки, а другой крепят между фильтром и топливным насосом.

Прокачивают систему топливоподачи, удалив из нее воздух, запускают двигатель и устанавливают номинальную частоту вращения коленчатого вала двигателя при холостой работе.

Переводят ручку трехходового крана на измерение давления до фильтра тонкой очистки топлива, затем – на измерение давления после фильтра. По полученным данным оценивают состояние подкачивающего насоса и фильтрующих элементов.

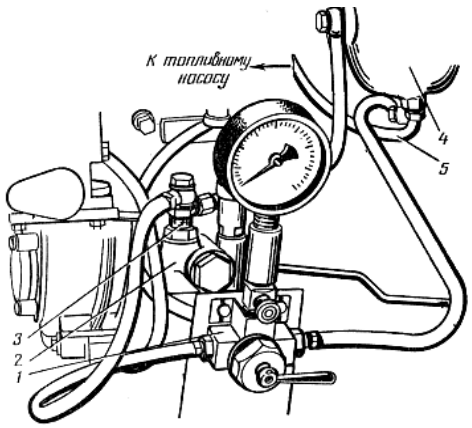


Рис. Диагностирование системы топливоподачи низкого давления: *1* – приспособление КИ-4801; *2* – топливоподкачивающий насос; *3* – штуцер; *4* – фильтр тонкой очистки топлива; *5* – трубка отвода топлива от фильтра

Если давление топлива до фильтра снизилось до предельного значения (0,07 МПа), то неисправен подкачивающий насос: завис или засорился перепускной или нагнетательный клапан, деформировалась пружина поршня, износилось сопряжение поршень – цилиндр.

Если давление после фильтра тонкой очистки снизилось до предельного значения (0,04 МПа), значит, засорился фильтр или неисправен перепускной клапан ТНВД. Для проверки перепускного клапана ручку трехходового крана переводят на измерение давления непосредственно в головке топливного насоса, минуя фильтр тонкой очистки топлива.

Давление открытия перепускного клапана топливного насоса должно быть не менее 0,12...0,19 МПа. Если оно меньше, необходимо устранить неисправность (засорен клапан, деформировалась пружина, износилось седло клапана).

Если давление топлива до и после фильтра тонкой очистки топлива не изменяется или имеет малый перепад, то возможно имеется повреждение фильтра (разрыв, отклеивание донышка). Также следует проверить состояние уплотнений фильтрующих элементов.

Контроль состояния плунжерных пар и нагнетательных клапанов топливного насоса высокого давления. Для проверки технического состояния прецизионных пар топливного насоса применяют приспособление КИ-4802. Оно состоит из корпуса *2*, манометра *1* и предохранительного клапана *4*, расположенного в рукоятке. Предохранительный клапан прижимается к седлу пружиной, затяжку которой регулируют винтом, ввернутым в рукоятку (рис. 2.23). Клапан регулируют на давление начала открытия 30...32 МПа.

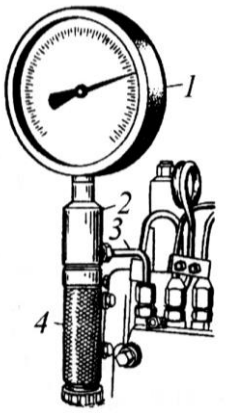


Рис. 2.23. Диагностирование топливного насоса высокого давления:
1 – манометр; *2* – корпус;
3 – топливопровод;
4 – предохранительный клапан

Износ плунжерной пары проверяют по давлению, развиваемому ею при пусковой частоте вращения коленчатого вала.

Для этого топливопровод приспособления присоединяют к штуцеру высокого давления проверяемой секции и, прокручивая коленчатый вал стартером, плавно включают подачу топлива, наблюдая за положением стрелки манометра.

При возникновении колебаний стрелки выключают подачу топлива и снова плавно включают ее, повышая давление до 30 МПа. Если давление окажется менее 30 МПа, плунжерные пары требуют замены.

Для проверки плотности прилегания нагнетательного клапана к седлу прекращают прокручивать коленчатый вал, выключают подачу топлива и, наблюдая за перемещением стрелки манометра, измеряют время падения давления от 15 до 10 МПа. Если время падения давления окажется менее 10 с, нагнетательный клапан заменяют.

Проверка и регулировка форсунок. Проверку и регулировку форсунок следует выполнять через 2000 ч работы двигателя. В случае замены форсунок болты их крепления необходимо затягивать равномерно в два-три приема. Окончательный момент затяжки составляет 20...25 Н · м.

Для проверки давления начала впрыскивания топлива отсоединяют топливопровод высокого давления от секции топливного насоса или от форсунки (в зависимости от удобства размещения приспособления). Приспособление КИ-16301А (механотестер) присоединяют к форсунке: в первом случае – к штатному топливопроводу (через переходник), а во втором – непосредственно к форсунке.

Приспособление КИ-16301А представляет собой ручной насос высокого давления, в корпусе которого расположена плунжерная пара, нагнетательный клапан и пружина. К корпусу насоса присоединены топливопровод высокого давления *4* и резервуар *2* для топлива. Привод плунжера осуществляют ручкой *1*, а давление впрыскивания контролируют по манометру *3* (рис. 2.24).

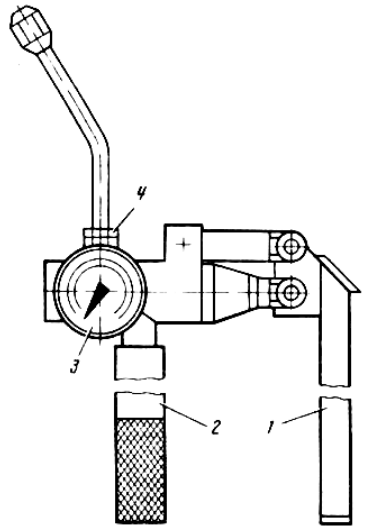


Рис. 2.24. Приспособление КИ-16301А (механотестер) для проверки форсунок: *1* – рычаг; *2* – рукоятка-топливный бак; *3* – манометр; *4* – топливопровод

Рычагом приспособления делают 35...40 качков в минуту и по максимальному отклонению стрелки манометра определяют давление начала подъема иглы распылителя. Если давление начала впрыскивания топлива отличается от значений, приведенных в табл. 2.8, более чем на 0,5 МПа, регулируют форсунку, не снимая с двигателя.

Таблица. **Давление начала впрыскивания топлива форсунками**

№ п/п	Наименование форсунки	Давление начала впрыскивания, МПа
1	172.1112010-11.01, 172.1112010-11.02 (ЗАО АЗПИ, РФ)	23,5…24,7*
2	174.1112010-01, 174.1112010-02 (ЗАО АЗПИ, РФ)	22,0…23,2
3	VA70P360-2994, VA70P360-2995 (АО «МОТОРПАЛ», Чехия)	25,4…26,2
4	VA70P360-2997 (АО «МОТОРПАЛ», Чехия)	22,4…23,2
5	455.1112010-50 (ОАО ЯЗДА, РФ)	24,5…25,7
6	WNAP 455-50 (PZL, Польша)	24,5…25,7

*Форсунки 172.1112010-11.01, устанавливаемые на двигатель Д-245 и его модификации, регулируются на давление начала впрыскивания 25,0...26,2 МПа.

В зависимости от конструкции форсунки давление начала впрыскивания регулируют регулировочным винтом или изменением общей толщины регулировочных шайб. Увеличение общей толщины регулировочных шайб (увеличение сжатия пружины) повышает давление, уменьшение – понижает.

Изменение толщины шайб на 0,1 мм приводит к изменению давления начала подъема иглы форсунки на 1,3...1,5 МПа.

Для проверки герметичности распылителя создают давление на 1,0...2,0 МПа меньше номинального давления начала впрыскивания топлива форсункой и замеряют скорость падения давления. Если за 20 с давление снизится более чем на 1,5 МПа, форсунки следует снять, разобрать, очистить распылитель от нагара и лаковых отложений и проверить работоспособность форсунки на стенде. При необходимости заменить распылитель.

Для проверки качества распыливания топлива нагнетают топливо рычагом со скоростью 70…80 качков в минуту, приставляют наконечник автостетоскопа к корпусу форсунки и слушают звук впрыскивания. Впрыскивание должно сопровождаться четким, хорошо прослушиваемым прерывистым звуком.

Если звук впрыскивания прослушивается слабо и не имеет ярко выраженного оттенка, характерного для исправного распылителя, форсунку необходимо снять, разобрать, очистить распылитель от отложений и снова проверить ее работоспособность.

Ресурсное диагностирование турбокомпрессора

На рабочий процесс и скорость изнашивания деталей двигателя большое влияние оказывает состояние системы очистки воздуха, всасываемого в цилиндры. С увеличением наработки происходит накопление пыли в фильтрующих элементах, а также снижение уровня и ухудшение свойств масла в поддоне воздухоочистителя (при его наличии). В результате ухудшаются рабочие характеристики воздухоочистителя – коэффициент пропуска абразивных частиц различного размера и сопротивление, которые приводят к преждевременному износу деталей двигателя.

Повышение сопротивления снижает степень наполнения цилиндров воздухом и, следовательно, мощность и экономичность двигателя, а также вызывает увеличение разрежения во впускном коллекторе, что повышает опасность подсоса неочищенного воздуха через неплотности воздушного тракта.

Для своевременного обнаружения неисправностей в системе очистки и подачи воздуха контролируют герметичность системы, сопротивление воздухоочистителя и впускного тракта (по разрежению в нем) с помощью диагностических средств или штатных приборов.

Нарушение работоспособности турбокомпрессора происходит чаще всего по причине поступления в подшипниковый узел загрязненного масла или разжижения моторного масла топливом. Загрязнение масла может произойти из-за повреждения масляных фильтров, неисправности перепускного клапана масляного фильтра, попадания загрязнений в масло при техническом обслуживании двигателя, в процессе износа деталей двигателя, старения и деградации масла.

Воздействие загрязненного масла приводит к быстрому износу деталей подшипникового узла турбокомпрессора.

Нагрев корпуса подшипников с турбинной стороны приводит к коксованию масла и коррозии подшипников. Закоксовывание ротора турбокомпрессора (отложение сажи) происходит также из-за горячего останова двигателя. Когда двигатель работает под нагрузкой, турбокомпрессор работает в условиях высоких температур, а его ротор вращается с максимальной частотой. Если двигатель при этом остановить, то перестанет работать система смазки и ротор турбокомпрессора будет вращаться в условиях сухого трения. Работа турбокомпрессора в условиях недостаточной подачи масла приводит к усиленному износу трущихся поверхностей.

Недостаточная подача масла может быть вызвана вводом турбокомпрессора в работу без предварительного прогрева двигателя, поломкой или засорением маслоподающей трубки, низким давлением моторного масла в связи с неисправностью системы смазки, использованием герметиков, которые могут препятствовать нормальной подаче масла.

Механические повреждения турбинного колеса или колеса компрессора могут произойти в результате попадания постороннего предмета в корпус турбины или компрессора, а также касания ротором корпуса из-за износа распорной втулки. Попадание с всасываемым воздухом во впускной канал компрессора песка приводит к сошлифовыванию лопаток колеса компрессора, посторонние твердые предметы (отломившиеся части клапанов, поршневых колец) служат причиной сбивания лопаток колеса турбины или компрессора, а при попадании мягких предметов (элементы воздушного фильтра, кусочки резины) лопатки колеса компрессора гнутся. Эксплуатация турбокомпрессора с поврежденными лопастями строго запрещена, так как нарушается балансировка ротора, что влечет за собой сокращение срока его службы.

Чаще всего встречаются следующие проявления неисправностей, связанных с турбокомпрессором: двигатель не развивает полную мощность, идет черный или синий дым из выхлопной трубы, наблюдаются повышенный расход масла, шумная работа турбокомпрессора.

Диагностирование турбокомпрессора. *Отсоединить и осмотреть патрубки*, соединяющие турбокомпрессор с воздухоподводящим трактом двигателя. Патрубки должны быть сухими или с незначительными следами отпотевания масла. Наличие масла в патрубках и повышенный расход масла в двигателе указывают на неисправность турбокомпрессора или износ двигателя.

Не допускается проверка выброса масла из турбокомпрессора на работающем двигателе при отсоединенном напорном патрубке от воздушного коллектора двигателя. Уплотнение ротора разрезными кольцами надежно работает только в том случае, если давление в полости корпуса подшипников меньше или равно давлению перед ним.

Давление в полости корпуса подшипников турбокомпрессора всегда выше атмосферного, так как она соединена через сливной патрубок с картерной полостью двигателя и подвержена воздействию картерных газов. Давление на выхо-

де компрессора при работающем двигателе всегда выше давления картерных газов, что обеспечивает подпор уплотнения ротора со стороны компрессора.

Осмотреть лопатки. Лопатки должны быть без зазубрин и забоин, непогнутые, правильной формы, с небольшим зазором повторяя проточную часть холодной улитки. При повреждении лопаток турбокомпрессор подлежит замене.

Определить осевой и радиальный люфты ротора, подвигав его в осевом и радиальном направлениях. Осевой люфт не должен превышать 0,05 мм и ощущаться руками. Радиальный люфт не должен превышать 1,0 мм. При этом в крайнем радиальном положении при проворачивании ротора его лопатки не должны задевать корпус турбокомпрессора. При увеличенном люфте или задевании лопатками корпуса турбокомпрессор подлежит замене.

Осмотреть патрубки, фланцы, корпус подшипников, корпус турбины и компрессора на наличие трещин. При наличии трещин турбокомпрессор подлежит замене.

Время выбега ротора турбокомпрессора измеряют по времени звучания вращения ротора, прослушиваемого у обреза выхлопной трубы, зафиксировав начало отсчета с момента остановки коленчатого вала двигателя. Время выбега ротора турбокомпрессора должно быть не менее 8 с. Если время выбега ротора меньше допустимых величин, то турбокомпрессор требует замены.

Для измерения давления наддувочного воздуха вывертывают пробку из резьбового отверстия в нагнетательном коллекторе турбокомпрессора и ввертывают вместо нее штуцер манометра (приспособления КИ-28095 или КИ-28204). Запускают двигатель и фиксируют по манометру значение давления наддува при номинальной частоте вращения коленчатого вала, которое должно составлять 0,05…0,8 МПа для двигателей Д-245 и Д-260. При снижении давления подтягивают гайки крепления корпуса компрессора к впускной трубе. Если после этого давление не увеличится, то турбокомпрессор ремонтируют или заменяют.

Ресурсное диагностирование системы смазки

Техническое состояние смазочной системы оценивается давлением масла в магистрали и его температурой.

Причиной отсутствия давления масла в системе может быть повреждение привода масляного насоса или заедание редукционного клапана в открытом положении.

Понижается давление масла при разбавлении его топливом или охлаждающей жидкостью, а также в результате нагрева двигателя. Кроме того, давление в системе может снизиться по причине засорения фильтрующего элемента или сетки маслоприемника, износа или разрегулирования редукционного (сливного или предохранительного) клапана.

Износ деталей масляного насоса, коренных и шатунных подшипников и шеек коленчатого вала, увеличение зазора в сопряжениях опорные шейки распределительного вала – втулки также приводит к снижению давления масла.

Повышенное давление масла является следствием заедания редукционного клапана в закрытом положении.

На давление и температуру масла влияют состояние системы охлаждения, нагрузка двигателя, сорт применяемого масла. Причиной высокой или низкой температуры масла может быть и неисправность клапана-термостата. При его износе или поломке пружины масло циркулирует через радиатор, его температура понижается, масло становится гуще и давление повышается.

Исправность системы смазки контролируется по манометру и термометру на щитке приборов трактора.

Внешними признаками неисправностей системы смазки являются: отсутствие, пониженное или повышенное давление в системе, недостаточная частота вращения ротора центрифуги, течь масла в соединениях.

Контроль времени выбега ротора центробежного маслоочистителя.

На двигателях, оборудованных центробежным маслоочистителем, необходимо проверить его состояние по времени выбега ротора. Для этого необходимо запустить двигатель, прогреть моторное масло до 70 °С и увеличить частоту вращения коленчатого вала до максимальной величины. Затем резко выключить подачу топлива и после остановки двигателя приставить к колпаку центрифуги автостетоскоп и измерить с помощью секундомера время вращения (выбега) ротора после остановки двигателя.

О моменте остановки двигателя судят по прекращению вращения коленчатого вала. Ротор исправного центробежного маслоочистителя должен вращаться не менее 30…40 с после остановки двигателя. Если время выбега ротора менее 15…20 с, необходимо проводить работы по его обслуживанию.

Контроль давления масла в масляной магистрали. Давление масла в масляной магистрали контролируется по штатному манометру или приспособлением КИ-13936 или КИ-28156 (рис. 2.30). Если штатный манометр исправный, его показания не должны отличаться от показаний манометра приспособления КИ-13936 (КИ-28156) более чем на 5 %.

Приспособление КИ-13936 подсоединяют к масляной магистрали двигателя, прогревают двигатель и определяют давление масла при номинальной частоте вращения коленчатого вала.

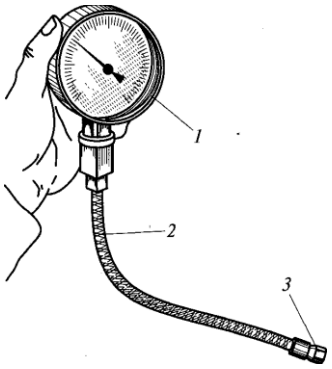


Рис. 2.30. Контрольное приспособление КИ-13936: *1* – манометр; *2* – соединительный шланг; *3* – накидная гайка

Если полученные значения давления отличаются от предельно допустимых (табл.), то необходимо проверить и отрегулировать клапаны главной масляной магистрали.

Таблица 2.9. **Давление масла в главной масляной магистрали**

Марки двигателя	Номинальная частота вращения коленчатого вала, об/мин	Давление масла в магистрали, МПа (кгс/см^2)	
		номинальное	при минимальной частоте вращения
Д-243, Д-245, Д-245.2	2200	0,25…0,35 (2,5…3,5)	0,08 (0,8)
Д-245S3A, Д-245.2S3A	2400	0,25…0,35 (2,5…3,5)	0,08 (0,8)
Д-245.5S3A, Д-245.43S3A	1800	0,25…0,35 (2,5…3,5)	0,08 (0,8)
Д-260.1, Д-260.2, Д-260.4, Д-260.7, Д-260.9	2100	0,28…0,45 (2,8…4,5)	0,10 (1,0)
Д-262S2, Д-262.1S2, Д-262.2S2, Д-263S2, Д-263.2S2	2100	0,33…0,50 (3,3…5,0)	0,12 (1,2)
Deutz BF06M1013FC	2300	0,30…0,50 (3,0…5,0)	0,08 (0,8)
ЯМЗ-236НЕ, ЯМЗ-236Н, ЯМЗ-238ДЕ, ЯМЗ-238ДЕ2	2100	0,40…0,70 (4,0…7,0)	0,10 (1,0)
ЯМЗ-236БЕ, ЯМЗ-236Б, ЯМЗ-238БЕ, ЯМЗ-238БЕ2	2000	0,40…0,70 (4,0…7,0)	0,10 (1,0)
ЯМЗ-7511.10, ЯМЗ-7512.10, ЯМЗ-7513.10	1900	0,40…0,70 (4,0…7,0)	0,10 (1,0)

Для регулировки клапанов масляной магистрали необходимо подсоединить приспособление КИ-13936 (КИ-28156) к масляной магистрали, запустить двигатель и снять защитные пробки сливного и перепускного клапанов.

Далее следует затянуть до отказа регулировочные пробки этих клапанов. Приспособление покажет давление срабатывания предохранительного клапана масляного насоса, которое должно быть в пределах 0,8…0,9 МПа (8…9 кгс/см^2).

Ослабляя регулировочной пробкой *5* затяжку пружины сливного клапана, необходимо довести показания приспособления до номинального давления в главной масляной магистрали.

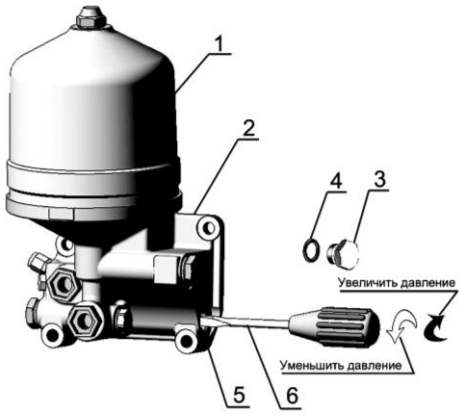


Рис. 2.31. Регулировка давления масла:
1 – фильтр масляный центробежный; *2* – корпус фильтра; *3* – пробка клапана; *4* – прокладка пробки; *5* – пробка регулировочная; *6* – отвертка

Затем с помощью пробки регулируется усилие пружины перепуск-ного клапана так, чтобы приспособление показывало давление в пре-делах, указанных в табл. 2.9, при номинальных оборотах коленчатого вала двигателя.

После регулировки необходимо завернуть на место защитные пробки *3* сливного и перепускного клапанов.

Ресурсное диагностирование элементов трансмиссии

Основными причинами появления неисправностей механизмов трансмиссии (коробок передач, конечных передач и ведущих мостов) являются: разрегулирование их, негерметичность картеров, нарушение режимов смазывания (периодичности замены, сортов применяемых масел), а также износ и увеличение зазоров соединений, предопределяющих существенное возрастание ударных нагрузок в зубчатых передачах и подшипниках.

Неисправности коробки передач тракторов «Беларус» можно разделить на три типа: механические, гидравлические и электрические.

К механическим неисправностям относятся: износ шлицевого соединения раздаточной шестерни и первичного вала корпуса муфты сцепления; разрушение соединительной втулки между коробкой передач и задним мостом; выход из строя фрикционной муфты; износ или разрушение подшипников и других деталей; износ щек вилки или муфты.

К гидравлическим неисправностям относятся: выход из строя шестеренного насоса гидросистемы трансмиссии; утечки масла в магистрали подвода к фрикционной муфте.

К электрическим неисправностям относятся: короткое замыкание или обрыв в цепи электромагнита распределителей передач; несрабатывание датчиков давления, установленных на выходе распределителей передач.

Внешними признаками неисправности коробки передач являются затрудненное включение передач, самопроизвольное выключение их, подтекание масла из коробки передач. Признаками изнашивания зубьев зубчатых передач, шлицов валов и зубчатых колес являются шум и вибрация в результате роста ударных нагрузок в трансмиссии при колебании тягового усилия трактора.

В процессе эксплуатации тракторов необходимо следить за герметичностью гидросистемы коробки передач. Важным условием бесперебойной работы гидросистемы является очистка и промывка сетчатого фильтра, центробежного маслоочистителя. Очищают и промывают сетчатый и центробежный фильтры через 250 ч наработки. При ТО-3 фильтры разбирают и очищают. Одновременно промывают заливной и заборный фильтры.

Диагностирование гидропривода коробок передач тракторов проводят с помощью прибора КИ-24038. В процессе диагностирования проверяют давление открытия перепускного клапана, подачу насоса и суммарные утечки в распределителе и фрикционе.

При износе деталей механизма блокировки переключение передач затруднено и возможно их самовыключение. Поэтому во время ТО после регулировки главного сцепления регулируют и механизм блокировки изменением длины тя-

ги. В коробках передач с шестернями непостоянного зацепления изнашиваются торцы зубьев переключаемых шестерен. Признаком этого дефекта могут служить шум и затрудненное переключение передач, остающиеся после регулировки сцепления и механизма блокировки. В этом случае необходимо вскрыть коробку и осмотреть состояние шестерен.

В главной передаче тракторов вследствие износа деталей увеличиваются зазоры в зацеплении шестерен, в шлицевых соединениях и в подшипниках. Обобщающий диагностический параметр трансмиссии – суммарный угловой зазор. При ТО-3 диагностирование трансмиссии начинают с измерения суммарного углового зазора с помощью угломера КИ-13909 (рис. 2.35).

Для измерения зазора приподнимают ведущее колесо трактора до отрыва его от земли с помощью домкрата, воздействуя на кожух одной из полуосей колесного трактора.

Угломер с магнитом устанавливают на торце полуоси трактора. Затормозив борт, соответствующий проверяемой конечной передаче, поворачивают ведущее колесо в одну сторону и устанавливают пузырек воздуха в ампуле угломера на нуль (поворотом корпуса).

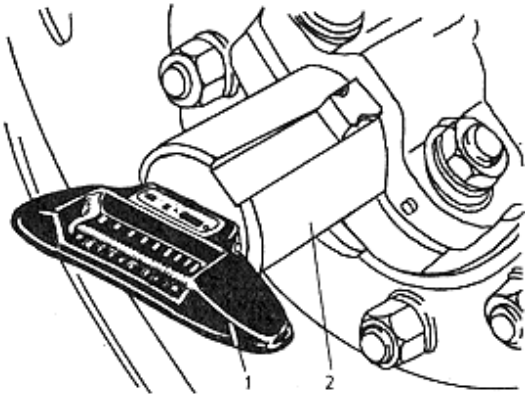


Рис. 2.35. Измерение суммарного углового зазора в трансмиссии:
1 – угломер КИ-13909; *2* – полуось заднего колеса трактора

Поворачивают колесо в обратном направлении и по показанию угломера определяют величину углового зазора. Аналогично определяют угловой зазор в другой конечной передаче.

Растормаживают трактор, включают одну из передач и измеряют суммарный угловой зазор в кинематической цепи всей силовой передачи. Максимальный момент прокручивания колеса в ту или иную сторону (при полностью выбранном зазоре) должен быть равен 100...120 Н · м.

Если угловой зазор превышает допускаемую величину хотя бы на одной из передач, необходимо вскрыть коробку передач и задний мост, осмотреть шестерни, проверить состояние зубьев шестерен, осевой зазор в подшипниках с помощью приспособления КИ-4850.

Шариковые подшипники требуют замены при осевом зазоре более 0,3 мм. Роликовые конические подшипники при зазоре более 0,3 мм регулируют.

Ресурсное диагностирование гидравлических систем

Неисправности гидравлической системы являются, как правило, следствием износа деталей и нарушения правил ее эксплуатации. Причинами неисправностей часто бывают неправильная сборка агрегатов, ослабление креплений, утечки масла, его плохая очистка и низкое качество уплотнений, нарушение первоначальных регулировок и другие причины.

Нарушения работоспособности гидравлической системы можно объединить в две группы.

1. Нарушения нормальной циркуляции масла в соответствии с заданным режимом работы гидросистемы. Возможные причины: неплотное соединение маслопроводов и агрегатов; неисправности запорных устройств соединительных муфт; залегание (заклинивание) клапанов; разрегулировка или потеря герметичности клапанов, управляющих циркуляцией масла.

2. Недопустимое отклонение функциональных характеристик агрегатов гидросистемы. Возможные причины: нарушение герметичности рабочих объемов агрегатов гидросистемы из-за износа или разрушения деталей; снижение производительности гидронасосов; повышение утечки масла в распределителе и других механизмах, а также в гидроцилиндрах (перетекание масла из одной полости в другую через неплотности между поршнем и цилиндром).

Гидросистема при этом продолжает функционировать, однако значения основных характеристик ее рабочих процессов, например длительность подъема навешенного орудия, способность удерживать его в транспортном положении длительное время, отклоняются от номинальных значений.

Внешними признаками неисправностей гидросистемы являются отсутствие подъема, медленный подъем или самопроизвольное опускание навешенного орудия, образование пены в баке, подтекание, нагрев масла, заедание или отсутствие фиксации золотников гидрораспределителя.

Во время диагностики внешним осмотром проверяют нагрев элементов гидронавесной системы, состояние запорных устройств и разрывных муфт, время подъема и опускания сельскохозяйственной машины, а также величину усадки штока гидроцилиндра с навешенным орудием.

Перед диагностированием гидронавесной системы необходимо установить одну из рукояток управления золотниками в положение «Подъем» и на средних оборотах двигателя прогреть масло до температуры (50 ± 5) °С. Для прогрева масла необходимо также сделать 5…6 подъемов и опусканий силового цилиндра.

Наиболее распространенным диагностическим прибором для выявления причин и характера отказа в работе и отклонений регулировочных параметров агрегатов гидросистем тракторов в процессе их эксплуатации является прибор КИ-1097-l (дроссель-расходомер ДР-90М). Он предназначен для заявочного диагностирования гидросистем тракторов, выполняемого в случаях обнаружения признаков неисправностей при общем диагностировании гидросистем, а также для проверки давлений и расходов рабочей жидкости в гидросистемах.

С помощью прибора определяются объемная подача гидравлических насосов, давление, при котором происходит срабатывание предохранительных клапанов и механизмов автоматического возврата золотников в гидросистемах, величина различного рода утечек.

Дроссель-расходомер ДР-90М (рис. 2.59) состоит из корпуса *1*, рукоятки *6*, дросселя с лимбом *7* и шкалой расходов, демпфирующего устройства и манометра *4* со шкалой измерения давления до 25 МПа.

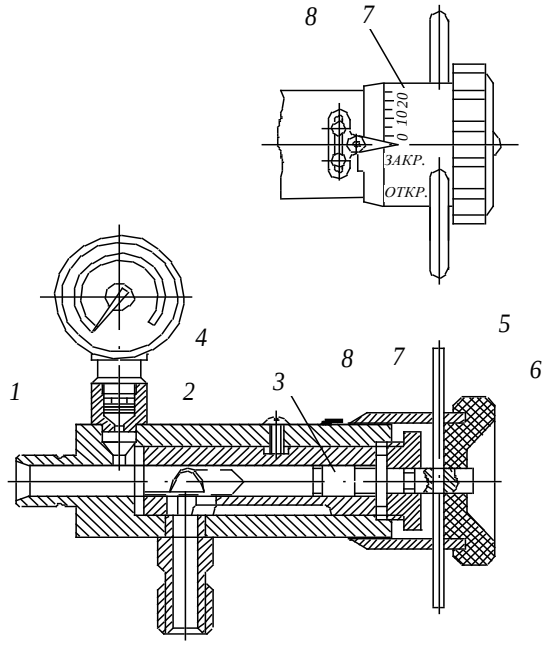


Рис. 2.59. Дроссель-расходомер ДР-90М:
1 – корпус; *2* – гильза;
3 – плунжер; *4* – манометр;
5 – стержень; *6* – рукоятка;
7 – лимб; *8* – стрелка
указателя

Внутри корпуса *1* установлена гильза *2* с дросселирующей щелью, которая заканчивается отверстием. Торец плунжера *3* выполнен в виде спирали. При вращении рукоятки *6* спираль плунжера сначала перекрывает отверстие гильзы, а затем постепенно перекрывает щель. С уменьшением щели гильзы в нагнетательном канале дросселя-расходомера создается давление масла, которое измеряется манометром *4*.

С помощью стержня *5* рукоятка *6* прибора соединена с плунжером *3* и лимбом *7*, на котором нанесена шкала расхода масла, протекающего через определенные сечения дросселирующей щели прибора при давлении на входе в дроссель-расходомер 10 МПа.

Для измерения расхода рабочей жидкости рукоятку устанавливают в такое положение, чтобы давление по манометру было равно 10 МПа. Тогда напротив стрелки указателя *8* на лимбе *7* будет находиться отметка, соответствующая расходу масла, протекающего через прибор.

Поворот рукоятки *6* до упора выступа лимба в ограничитель соответствует полностью открытому или закрытому проходному отверстию дросселя. Оба положения обозначены на лимбе соответственно «ОТКР.» и «ЗАКР.». Поворотом рукоятки с положения «ОТКР.» в сторону положения «ЗАКР.» осуществляется нагружение гидросистемы, определяемое по манометру прибора.

Перед диагностированием насоса гидросистемы необходимо присоединить дроссель-расходомер ДР-90М, для чего следует вывернуть штуцер на нагнетательном трубопроводе, идущем от насоса к распределителю, и соединить трубопровод с нагнетательным штуцером прибора. Сливной шланг, идущий от прибора, соединяют со сливной линией гидрораспределителя.

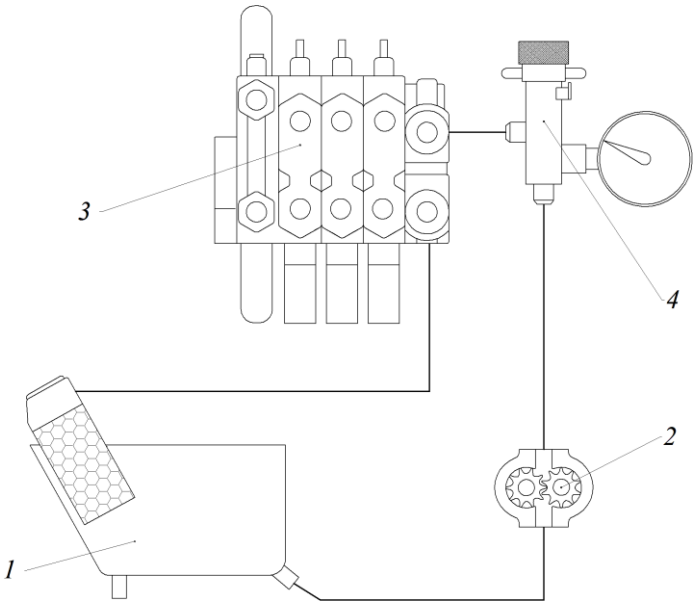


Рис. Схема диагностирования насоса гидросистемы трактора:
1 – масляный бак; *2* – гидронасос; *3* – гидрораспределитель;
4 – дроссель-расходомер ДР-90М

После чего следует включить гидронасос, установить рукоятку прибора в положение «ОТКР.» и запустить двигатель. ***Запуск двигателя при положении рукоятки прибора «ЗАКР.» может привести к повреждению манометра, насоса или шланга.***

После запуска двигателя устанавливают одну из рукояток управления золотниками в положение «Подъем» и на средних оборотах двигателя прогревают масло до температуры (50 ± 5) °С. Для прогрева масла необходимо также сделать 5…6 подъемов и опусканий силового цилиндра.

Для диагностирования насоса гидросистемы необходимо поддерживать номинальную частоту вращения коленчатого вала. Вращая рукоятку прибора, устанавливают давление масла 10 МПа и по лимбу определяют производительность насоса.

Пользуясь полученным результатом, а также данными табл., делают заключение о техническом состоянии насоса. Насос подлежит замене, если его объемный КПД меньше 0,65.

Таблица. **Техническая характеристика элементов гидравлической системы тракторов**

Параметр	Значение					
	Беларус-820, 920	Беларус-1221	Беларус-1523	Беларус-2022	Беларус-3022	Беларус-3522
Тип насоса	НШ32	НШ32	НШ32	НШ32	Donaldson A10CN045	Donaldson A10CN063
Номинальная производительность насоса, л/мин	45	53	55	56	от 0 до 120	от 0 до 120
Давление настройки предохранительного клапана, МПа	19 ± 1	19 ± 1	19 ± 1	20 ± 2	20,5 ± 0,5	20,5 ± 0,5
Давление срабатывания автовозврата золотника, МПа	18,5 ± 1	18,5 ± 1	18,5 ± 1	19,5 ± 2	20,0 ± 0,5	20,0 ± 0,5

Проверка утечек в гидрораспределителе. Для проверки гидрораспределителя входной шланг дросселя-расходомера ДР-90М присоединяют к нагнетательной магистрали одного из выносных цилиндров (рис. 2.61).

Устанавливают рукоятку прибора в положение «ОТКР.», включают насос гидросистемы, запускают двигатель и устанавливают номинальную частоту коленчатого вала. Включают рукоятку управления золотником проверяемой секции в положение «Подъем», поворотом рукоятки прибора создают в нагнетательной магистрали давление 10 МПа (100 кгс/см^2) и определяют по шкале устройства расход масла.

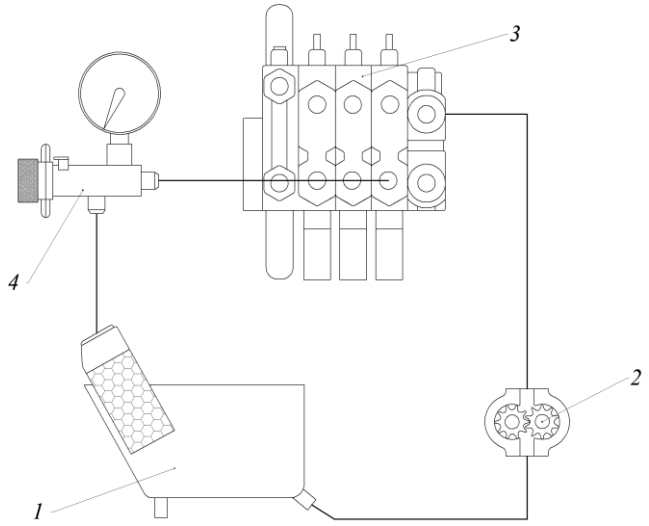


Рис. Схема проверки технического состояния гидрораспределителя:
1 – масляный бак; *2* – гидронасос; *3* – гидрораспределитель;
4 – дроссель-расходомер ДР-90М

При технически исправном состоянии перепускного и предохранительного клапанов расход масла не должен отличаться более чем на 5 л/мин от производительности насоса гидросистемы.

Проверка давления автовозврата золотников гидрораспределителя. Прибор подключают к нагнетательной магистрали одного из выносных цилин-

дров. Включают рукоятку управления золотником проверяемой секции в положение «Подъем» и, следя за стрелкой манометра, поворотом рукоятки устройства поднимают давление до момента срабатывания автовозврата.

Давление срабатывания автовозврата золотников должно быть на 0,5 МПа ниже давления срабатывания предохранительного клапана (см. табл.).

Для проверки давления срабатывания автоматов других золотников устанавливают рукоятку управления золотником, к маслопроводам которого присоединен прибор, и рукоятку проверяемого золотника в положение «Подъем». Удерживая рукой первую рукоятку в положении «Подъем», медленно поднимают давление дросселем прибора в нагнетательной магистрали до момента срабатывания автомата проверяемого золотника. Рукоятка проверяемого золотника должна вернуться в нейтральное положение.

Проверка давления срабатывания предохранительного клапана гидрораспределителя. Прибор подключают к нагнетательной магистрали одного из выносных цилиндров.

Включают рукоятку управления золотником в положение «Подъем» и удерживают ее в этом положении. Поворачивают рукоятку прибора до тех пор, пока давление в системе не перестанет нарастать. При этом показания манометра прибора должны соответствовать давлению открытия предохранительного клапана (см. табл.).

Ресурсное диагностирование аккумуляторной батареи

К неисправностям аккумуляторных батарей относят: сульфатацию и короткое замыкание пластин; ускоренный саморазряд батарей (более 3 % в сутки), вызванный посторонними примесями в электролите; трещины и пробоины в корпусе.

Сульфатация пластин является следствием электрохимических реакций в аккумуляторной батарее. При разряде аккумуляторной батареи рабочая поверхность пластин покрывается сульфатом свинца ($PbSO_4$), и чем больше разряд батареи, тем больше происходит покрытие пластин. При штатных режимах работы (заряд – разряд) кристаллы $PbSO_4$ при заряде растворяются, рабочие поверхности пластин очищаются и емкость батареи не снижается.

Частые запуски двигателя или длительная работа стартера приводят к глубокому разряду аккумуляторной батареи. В результате происходит сильная сульфатация пластин – поверхность пластин покрывается плотными отложениями. Они не могут распасться при заряде, поэтому рабочая поверхность уменьшается.

Признаки сульфатации пластин – снижение емкости аккумулятора, быстрое «закипание» электролита при зарядке и ускоренный разряд.

Короткое замыкание пластин характеризуется уменьшением плотности электролита и резким понижением напряжения до нуля при испытании нагрузочной вилкой, а также слабым повышением плотности электролита при заряде аккумуляторной батареи.

Работоспособность аккумуляторной батареи в значительной мере зависит от исправности зарядной цепи. *Низкая степень заряда исправной аккумуляторной батареи* бывает из-за отсутствия или малого значения силы зарядного тока.

Причинами могут быть:

- увеличенное переходное сопротивление между клеммами аккумуляторной батареи и наконечниками проводов вследствие ослабления их затяжки и окисления;

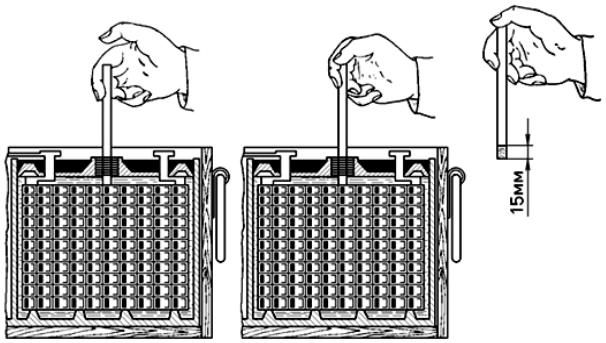
- отсутствие напряжения на клеммах «+» и «Д» генератора из-за обрыва или короткого замыкания обмоток генератора, износа или подгорания колец и щеток, выхода из строя диодного моста, неисправности регулятора напряжения (низкий уровень регулируемого напряжения);

- проскальзывание ремня привода генератора.

Если аккумуляторная батарея «кипит» и требует частой доливки дистиллированной воды, то причиной этому может быть неисправность регулятора напряжения (высокий уровень регулируемого напряжения) или сульфатация пластин.

Диагностирование работоспособности аккумуляторной батареи включает в себя проверку уровня и плотности электролита, ЭДС аккумулятора (напряжения без нагрузки) и напряжения под нагрузкой. Перед проверкой аккумуляторной батареи ее ветошью очищают от пыли и грязи. При наличии следов выкипания электролита поверхность АКБ протирают ветошью, смоченной в 10%-ном растворе кальцинированной соды, а затем вытирают насухо. После очистки поверхности АКБ выворачивают пробки из ее банок.

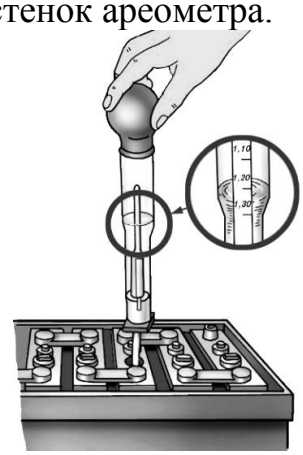
Проверка уровня электролита. Уровень электролита проверяют по меткам на прозрачном корпусе батареи. Если не видно уровня электролита, батарею необходимо слегка покачать. На батареях с непрозрачным корпусом уровень электролита проверяют с помощью стеклянной трубки.



Для этого трубку опускают в заливное отверстие аккумулятора. Достав до сепараторной сеточки, нужно зажать пальцем верхний край трубки и вытащить ее. Уровень электролита в трубке будет равен уровню в батарее. Он должен быть на 10…15 мм выше сепараторных пластин. Если уровень не соответствует норме, добавляют дистиллированную воду до нормального уровня.

Проверка плотности электролита. Плотность электролита в каждой банке измеряется ареометром. Для этого ареометр опускают в заливное отверстие

аккумулятора, заполняют резиновой грушей внутреннюю полость ареометра электролитом до всплытия поплавка и определяют плотность по шкале поплавка напротив нижнего края мениска жидкости. При замере поплавок должен свободно плавать и не касаться стенок ареометра.



Плотность электролита в банках не должна различаться более чем на 0,02 г/см^3. Если в АКБ доливалась дистиллированная вода, плотность электролита следует замерять не менее чем через 30…40 мин. Плотность электролита зависит от температуры, поэтому в значение измеренной плотности вносят температурную поправку по табл. 2.17. Зная плотность электролита батареи и пользуясь данными рис. 2.65, можно определить степень разряженности АКБ.

Таблица 2.17. **Температурные поправки к плотности электролита**

Температура электролита, °С	–30	–15	0	+15	+30	+45
Поправка к показаниям ареометра, г/см^3	–0,03	–0,02	–0,01	0	+0,01	+0,02
Напряжение под нагрузкой, В	>10,2	9,6	9	8,4	<7,8	

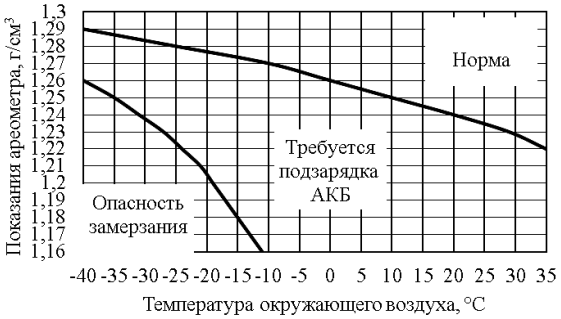
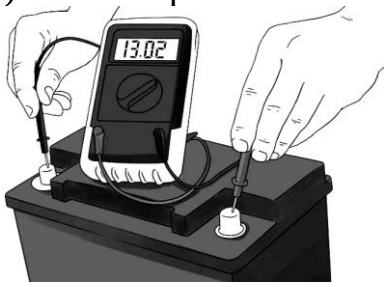


Рис. Номограмма зависимости плотности электролита от температуры окружающего воздуха и разрядки аккумуляторной батареи

Снижение плотности электролита на 0,01 г/см^3 от номинального значения соответствует разряженности батареи на 5…6 %. При уменьшении плотности на 0,03 г/см^3 батарею следует подзарядить.

Проверка аккумуляторной батареи мультиметром. Проверку аккумуляторной батареи следует проводить при температуре 20…25 °С (проверка холодной батареи может привести к значительной разрядке ее).

Для проверки ЭДС (напряжения без нагрузки) мультиметр нужно перевести в режим измерения постоянного напряжения и установить диапазон выше максимального значения напряжения для заряженной батареи. Далее надо подключить черный щуп к отрицательной (–) клемме аккумуляторной батареи, а красный – к положительной (+) и посмотреть показания мультиметра.



Если при отсутствии тока утечки по поверхности батарея выдает 12,7 В и выше, то она полностью заряжена (табл.). Напряжение 11,9 В и ниже указывает на полную разряженность батареи. Полная разрядка аккумуляторной батареи чревата сульфатацией пластин.

Таблица. **Зависимость заряженности батареи от напряжения**

Процент заряженности	100	75	50	25	0
Напряжение без нагрузки, В	>12,7	12,5	12,3	12,1	<11,9

Для проверки напряжения под нагрузкой АКБ после подключения мультиметра включением дальнего света фар и вентилятора отопителя создают нагрузку на батарею и смотрят показания прибора.

Проверка аккумуляторной батареи анализатором состояния аккумуляторных батарей ВТ-12 (нагрузочной вилкой). Проверка нагрузочной способности аккумуляторной батареи позволяет оценить способность ее обеспечивать достаточную силу тока для запуска двигателя. Нагрузочная вилка нагружает батарею, пропуская через себя электрический ток в 100 А, при этом измеряется уровень напряжения на клеммах батареи. На исправной батарее уровень напряжения под нагрузкой останется практически постоянным, в то время как на неисправной будет наблюдаться быстрое падение его.

Нагрузочная вилка – это устройство, которое представляет собой электрическую нагрузку (резистор с большим сопротивлением или тугоплавкую спираль) с двумя проводами и клеммами для подсоединения устройства к аккумуляторной батарее, а также вольтметром для снятия показаний напряжения.

Нагрузочная вилка подключается к клеммам аккумулятора: черный зажим – к отрицательной (–) клемме аккумуляторной батареи, а красный – к положительной (+) (рис. 2.67).

После подключения зажимов прибор покажет напряжение без нагрузки, характеризующее степень заряженности батареи. Если измеренное напряжение менее 12,4 В, то при проверке нагрузочной способности батареи прибор покажет «CHG». Это означает, что батарею необходимо зарядить перед продолжением проверки нагрузочной способности. Если после зарядки напряжение на батарее по-прежнему не превышает 12,4 В, то это указывает на ее неисправность.

Отсутствие показаний на индикаторе прибора указывает на плохой контакт на зажимах, неисправность батареи или полную ее разряженность (напряжение ниже 8,5 В).

Затем необходимо кратковременно нажать на кнопку включения нагрузки, и через 10 с прибор покажет состояние батареи по показаниям вольтметра, а также включением одного из трех цветных светодиодов. Звуковой сигнал в течение секунды подтвердит, что проверка завершена.

На полностью заряженной батарее после подачи нагрузки напряжение не должно упасть ниже 10,2 В. Если батарея немного разряжена, то допускается падение напряжения до 9 В (однако в этом случае ее нужно обязательно зарядить). А после снятия нагрузки напряжение должно через несколько секунд полностью восстановиться. Если напряжение не восстанавливается, то существует вероятность замыкания одного из аккумуляторов. Для исключения выхода из строя прибора нагрузка включается не более чем на 5...6 с.

Код «Err» на дисплее и непрерывный звуковой сигнал – сообщение об ошибке подключения нагрузки. Наличие этой ошибки не позволит анализатору правильно провести проверку нагрузочной способности.

Код «OFF» на дисплее и непрерывный звуковой сигнал – сообщение об ошибке отключения нагрузки. Через 1 с после окончания проверки нагрузочной способности микропроцессор проверит, отключена ли нагрузка от батареи.

Проверка аккумуляторной батареи портативным тестером Bosch BAT 110. Портативный тестер аккумуляторных батарей Bosch BAT 110 предназначен для проверки 12-вольтовых аккумуляторных батарей без нагрузки. Дополнительно он позволяет выполнять проверку системы запуска и системы зарядки аккумуляторной батареи.

Для проверки аккумуляторной батареи необходимо знать силу тока холодного пуска в амперах и стандарт испытаний (IEC, DIN, SAE, EN, JIS), данные которого используются в качестве эталонных значений.

Пусковые характеристики аккумуляторной батареи зависят от температуры. Чтобы получить достоверные результаты испытаний, следует ввести температурный диапазон (<0 °C или >0 °C). При этом необходимо выбирать температуру аккумуляторной батареи, а не температуру окружающей среды.

Каждый процесс зарядки и разрядки оказывает влияние на состояние аккумуляторной батареи. Поэтому проверять ее следует не ранее чем через 1 ч после зарядки или использования в качестве источника питания.

Если при испытаниях аккумуляторной батареи, которой не более трех лет, получен результат «Replace battery» («Заменить батарею»), то рекомендуется проверить силу тока холодного пуска или цепь зарядки, а также состояние зарядки (недостаточная зарядка аккумуляторной батареи может быть вызвана недостаточным временем зарядки из-за поездок на небольшие расстояния).

Если при испытаниях аккумуляторной батареи получен результат «Battery unserviceable» («Аккумулятор неработоспособен»), аккумуляторную батарею следует зарядить. При зарядке происходит уменьшение слоя сульфата свинца, и при повторной проверке может быть получен результат «Good» («Исправно»).

Если при проверке аккумуляторной батареи на автомобиле или тракторе светится красный светодиод «Replace battery» («Заменить батарею»), то причиной этому может быть плохое соединение между батареей и остальной частью электрической системы автомобиля или трактора. Следует отсоединить кабели от батареи и еще раз провести ее проверку.

Для проверки аккумуляторной батареи необходимо убедиться, что отключены все потребители тока и выключено зажигание. Подсоединить зажимы тестера к батарее: черный – к отрицательной (–) клемме; красный – к положительной (+) клемме.

Когда на дисплее отобразится символ «1», необходимо выбрать тип аккумуляторной батареи (нажатием на кнопки «↑» и «↓»): «FLOODED» – с жидким электролитом; «AGM» – гелевая. Выбранный тип аккумуляторной батареи отображается включением соответствующего светодиода. Для подтверждения выбора требуется нажать на кнопку «TEST».

Когда на дисплее отобразится символ «2», необходимо выбрать температуру аккумуляторной батареи (нажатием на кнопки «↑» и «↓»): «Солнце» – температура аккумулятора >0 °C; «Снег» – температура аккумулятора <0 °C. Выбранная температура аккумуляторной батареи отображается включением соответствующего светодиода. Для подтверждения выбора требуется нажать на кнопку «TEST».

Выбрать стандарт, которому соответствует аккумуляторная батарея (нажатием на кнопки «↑» и «↓»): EN, SAE, CCA, DIN, IEC, JIS. Выбранный стандарт аккумуляторной батареи отображается на дисплее. Для подтверждения выбора требуется нажать на кнопку «TEST».

Выбрать силу тока холодного пуска, указанную на аккумуляторной батарее (нажатием на кнопки «↑» и «↓»): EN, SAE – 200…900 А; CCA – 200…850 А; DIN, IEC – 120…550 А. Выбранная сила тока холодного пуска отображается на дисплее. Для подтверждения выбора требуется нажать на кнопку «TEST».

После ввода всех параметров будет гореть один или несколько светодиодов, показывающих состояние аккумуляторной батареи. На дисплее будет отображаться сила тока холодного пуска батареи.

Мигание дисплея или отображение на нем одной мигающей буквы указывает на полную разрядку аккумуляторной батареи (напряжение менее 8 В), что не позволяет провести ее проверку. Следует полностью зарядить батарею и повторно провести проверку.

Сообщение «CONN» означает плохой контакт с выводами аккумуляторной батареи. Необходимо отсоединить зажимы и подсоединить их заново, покачав для обеспечения контакта.

Для проверки системы запуска аккумуляторная батарея должна быть исправной и полностью заряженной.

Зажимы тестера необходимо подсоединить к батарее: черный – к отрицательной (–) клемме; красный – к положительной (+) клемме.

Затем измеряется напряжение на клеммах аккумуляторной батареи при прокрутке стартера, для чего следует нажать на кнопку «V», запустить двигатель, нажать на кнопку со стрелкой «↓» и удерживать ее.

Для проверки системы зарядки необходимо при работающем двигателе подсоединить зажимы тестера к аккумуляторной батарее (черный – к отрицательной (–) клемме; красный – к положительной (+) клемме) и измерить напряжение нажатием на кнопку «V».

На дисплее будет отображаться напряжение аккумуляторной батареи. Затем следует на 15 с увеличить частоту вращения коленчатого вала двигателя до 2000 мин$^{-1}$ и нажать на кнопку со стрелкой «↑». На дисплее отобразится максимальное напряжение зарядки.

Неисправности генератора. К неисправностям генератора относят износ или разрушение подшипников, чрезмерное натяжение ремня генератора (сопровождается повышенным шумом при его работе), проскальзывание приводного ремня генератора (сопровождается «визгом» и снижением значения силы зарядного тока).

Электрические неисправности генератора (обрыв или короткое замыкание обмоток генератора, износ или подгорание колец ротора и щеток, обрыв или короткое замыкание диодов диодного моста, неисправность регулятора напряжения) выявляются по низкой величине силы зарядного тока.

Отсутствие напряжения на клеммах «+» и «Д» генератора, которое возникает при обрыве или коротком замыкании обмоток генератора, износе или подгорании колец и щеток, выходе из строя диодного моста, а также низкое значение силы зарядного тока из-за неисправности регулятора напряжения или проскальзывание ремня привода генератора сопровождаются плохим зарядом аккумуляторной батареи.

Высокий уровень регулируемого напряжения из-за неисправности регулятора напряжения вызывает «закипание» аккумуляторной батареи и требует частого долива дистиллированной воды.

Проверка работы генераторной установки мультиметром или цифровым анализатором ВТ-12 (нагрузочной вилкой). Проверка позволяет оценить исправность генератора переменного напряжения и реле-регулятора напряжения путем измерения выходного напряжения. Перед проведением проверки следует убедиться, что батарея находится в хорошем эксплуатационном состоянии, проверив ее нагрузочную способность. Двигатель должен быть прогрет до нормальной рабочей температуры.

Для выполнения проверки необходимо подключить зажимы анализатора или мультиметра к батарее, выключить фары и все прочие потребители электроэнергии. Установить частоту вращения ротора генератора, соответствующую его техническим условиям и, не включая нагрузку, посмотреть на индикаторе значение напряжения. Оно должно составлять от 14 до 14,3 В.

Затем включить дальний свет фар и максимальную частоту вращения вентилятора отопителя. При этом показание напряжения должно изменяться не более чем на 0,1…0,2 В. Если напряжение находится в указанных пределах, то система генератор – реле-регулятор работает нормально. В противном случае необходимо определить неисправность генератора или реле-регулятора.

Низкое напряжение может быть вызвано слабым натяжением ремня генератора, неисправным реле-регулятором или неисправным генератором переменного тока.

Высокое напряжение может быть вызвано изношенными или коррозировавшими контактами разъемов или неисправным реле-регулятором.

Для проверки исправности регулятора напряжения увеличивают частоту вращения коленчатого вала. При этом напряжение не должно составлять более 14,7 В. В случае превышения этого значения можно констатировать неисправность регулятора напряжения.

Проверка номинальной мощности генератора (основная проверка). Для проверки номинальной мощности генератора необходимо в течение 10 мин прогреть двигатель на холостых оборотах, отрегулировать натяжение ремня генератора (при необходимости), нанести на торцевую или цилиндрическую поверхность шкива генератора (в зависимости от удобства доступа) белую полоску (метку).

Затем требуется подключить к генератору переносной блок нагрузки (ПБН): красный провод (+) к клемме «В» (+) генератора, а черный провод (–) – к массе (неокрашенной детали машины).

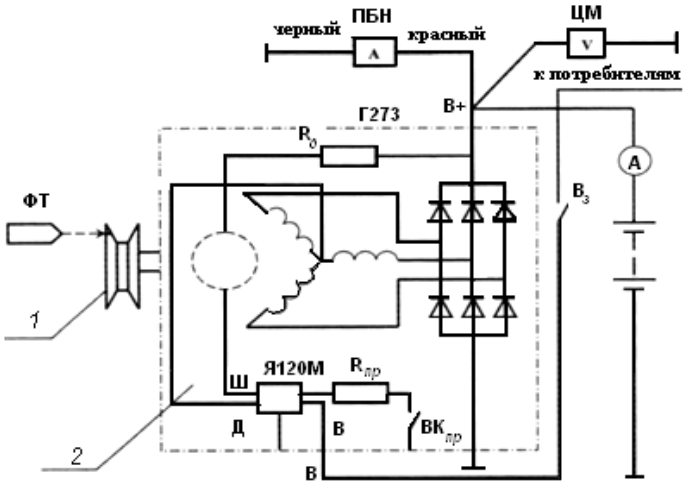


Рис. Схема подключения приборов к генераторной установке Г-273 при проведении основной проверки: *1* – шкив генератора; *2* – генераторная установка Г-273; В+ – вывод для подключения нагрузки; Я120М – интегральный регулятор напряжения; ВЗ – выключатель приборов и стартера; А – амперметр машины; $R_д$ – дополнительное сопротивление обмотки ротора; $R_{ПР}$ – сопротивление сезонной регулировки напряжения; $ВК_{ПР}$ – переключатель сезонной регулировки; ФТ – фототахометр DT-2234A; ПБН – переносной блок нагрузки; ЦМ – цифровой мультиметр MS8221

Ручку установки регулятора нагрузки ПБН-1 повернуть в исходное положение (против часовой стрелки). Установить переключатель *3* в положение 12 или 24 В в зависимости от напряжения бортовой сети машины.

Переключатели ступенчатой нагрузки *5*, *6* и *7* в зависимости от мощности генератора по силе тока включают следующим образом:

0…25 А – переключатели выключены;

25…50 А – включен переключатель *5*;

50…75 А – включены переключатели *5* и *6*;

75…100 А – включены переключатели *5*, *6* и *7*.

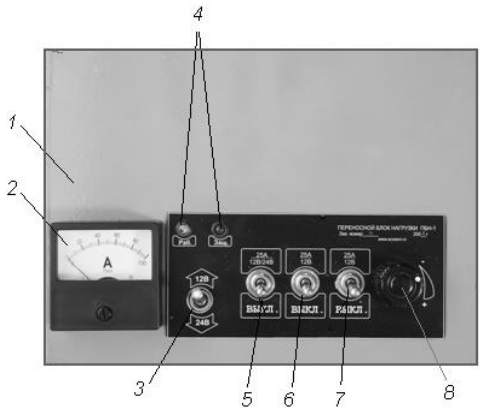


Рис. 2.72. Блок нагрузки ПБН-1: *1* – корпус блока нагрузки; *2* – амперметр; *3* – переключатель режимов питания с 12 до 24 В; *4* – сигнальные светодиоды; *5*–*7* – тумблеры ступенчатого переключения режимов нагрузки; *8* – регулятор плавной нагрузки

Время непрерывной работы переносного блока нагрузки при максимальной силе тока более 30 А должно быть не более 5 мин с последующим уменьшением нагрузки для охлаждения нагрузочных элементов и электронной части схемы в течение 10 мин.

Далее подключается цифровой мультиметр к генератору: вывод «input» – к клемме «В» (+), а вывод «com» – к массе (неокрашенной детали машины).

Переключатель рода работ мультиметра устанавливается в положение для измерения напряжения «V».

Губками токовых клещей обжимается красный провод, соединяющий переносной блок нагрузки с генератором. Затем они включаются установкой переключателя режимов измерения *4* в положение «А», и включается режим измерения силы постоянного тока «DC» (нажатием на кнопку «AC/DC»). Показания токовых клещей обнуляются нажатием на функциональную кнопку «ZERO» *5*.

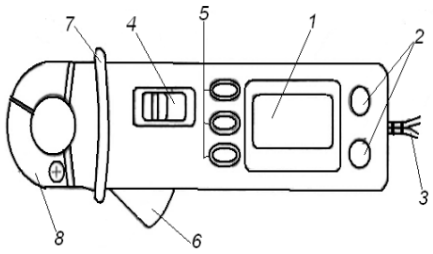


Рис. 2.73. Клещи электроизмерительные АРРА-30: *1* – ЖК-дисплей; *2* – измерительные гнезда; *3* – ремешок для переноски; *4* – переключатель режимов измерения; *5* – функциональные кнопки; *6* – курок механизма развода клещей; *7* – ограничитель безопасности; *8* – клещи преобразователя

После подключения всех приборов необходимо запустить двигатель и при минимальной частоте вращения коленчатого вала отключить массу. Поворотом ручки *8* переносного блока нагрузки плавно увеличивают частоту вращения ротора генератора до достижения номинального напряжения для данной марки генератора (контролируется по цифровому мультиметру). Частота вращения ротора измеряется фототахометром.

Рис. 2.74. Фототахометр DT6234B: *A* – отражающая метка; *B* – световой луч; *C* – кнопка «Измерение»; *D* – переключатель режима; *E* – кнопка «MEM»; *F*– дисплей; *G*– крышка отсека батареи

Для измерения частоты вращения фотодатчиком необходимо нанести на шкив отражающую метку *1*, установить переключатель режима *4* фототахометра в положение «RPM», нажать на кнопку *3* «Измерение» и направить световой луч *2* на объект, визуально убедившись, что луч попал на цель. Для вывода на дисплей измеренного значения необходимо нажать на кнопку *5* «MEM».

Показания приборов по напряжению, силе тока и частоте вращения ротора сравниваются с данными табл.

Таблица. **Характеристики генераторов при проверке их номинальной мощности**

Марка генератора	Измеряемая величина		
	Сила тока нагрузки, А	Напряжение, В	Частота вращения ротора генератора, мин$^{-1}$
Г-250	28	12…14	2100 ± 50
Г-271	10	24…28	2350 ± 50
Г-288	47	24…28	2500 ± 50
Г-273А	32	24…28	2500 ± 50
Г-275	80	12…14	3200 ± 50
Г-287	60	12…14	2100 ± 50
Г-306	23,5	12…14	2600 ± 50
Г-309	92	12…14	4500 ± 100
12.3701	46	24…28	4500 ± 50
13.3701	23,5	12…14	2600 ± 100
15.3701	85	12…14	4500 ± 100

При исправном генераторе напряжение и сила тока должны быть не менее указанных в табл. 2.23, а частота вращения ротора – не более табличной (при диагностировании генераторных установок также можно пользоваться паспортными данными генераторов).

По окончании проверки генератора необходимо выключить тумблеры *5, 6, 7* переносного блока нагрузки (если они были включены) и установить регулятор нагрузки в исходное положение (поворотом рукоятки *8* против часовой стрелки) (см. рис. 2.72). Установить минимальную частоту вращения коленчатого вала двигателя и отсоединить измерительные приборы.

Проверка начальной (минимальной) частоты вращения ротора генератора при номинальном возбуждении в режиме холостого хода. Для проверки начальной частоты вращения ротора генератора при номинальном возбуждении в режиме холостого хода необходимо подключить измерительные приборы, за исключением установки переносного блока нагрузки, запустить двигатель и при минимальной частоте вращения коленчатого вала отключить массу.

Наблюдая за показаниями цифрового мультиметра, плавно увеличить частоту вращения ротора до достижения номинального напряжения для данной марки генератора. При исправном генераторе частота вращения его ротора (при достижении номинального напряжения) не должна быть выше значений, указанных в табл., или паспортных данных генератора.

Таблица. **Характеристики генераторов при проверке начальной частоты вращения ротора**

Марка генератора	Напряжение, В	Частота вращения вала генератора, мин$^{-1}$
Г-250	12	950 ± 50
Г-271	24	110 ± 50
Г-288	28	1500 ± 50
Г-273А	24	1250 ± 50
Г-275	12	1450 ± 50
Г-287	14	1050 ± 50
Г-306	14	1550 ± 50
Г-309	14	1200 ± 50
12.3701	28	1200 ± 50
13.3701	14	1450 ± 50
15.3701	14	1150 ± 50

Проверка силы тока возбуждения генератора (вспомогательная проверка). Для проверки силы тока возбуждения генератора необходимо подключить к генератору цифровой мультиметр и обжать губками токовых клещей провод обмотки возбуждения.

При отсутствии маркировки провода возбуждения определить его можно с помощью индикатора напряжения. Для этого зажим «–» индикатора следует присоединить к массе машины, а щуп – к выводам генератора. При касании вывода обмотки возбуждения будет светиться красный светодиод.

Включить токовые клещи, установив переключатель режимов в положение «А», установить режим измерения силы постоянного тока «DC» нажатием на кнопку «AC/DC». Вывод «input» подключить к клемме «В» (+), вывод «com» – к массе.

Запустить двигатель и, плавно изменяя частоту вращения ротора генератора, следить за показаниями напряжения и силы тока по токовым клещам.

С увеличением частоты вращения ротора при постоянном напряжении сила тока возбуждения должна уменьшаться. При номинальном значении частоты вращения ротора сила тока возбуждения должна быть равна: для генераторной установки с номинальным напряжением 12 В – 2…3 А; для генераторной установки с номинальным напряжением 24 В – 1…2 А.

При несоответствии параметров паспортным или табличным данным генератор следует направить в ремонт.

Проверка исправности бесконтактного и интегрального регуляторов напряжения. Для проверки исправности бесконтактного (БРН) и интегрального (ИРН) регуляторов напряжения необходимо подключить к генераторной установке цифровой мультиметр и переносной блок нагрузки к выводам генератора и массе. Запустить двигатель и при минимальной частоте вращения коленчатого вала отключить массу.

Плавно увеличить частоту вращения ротора до начального (минимального) значения для данной марки генераторной установки, указанной в паспортных

данных или в табл, и цифровым мультиметром зафиксировать напряжение на выводах генераторной установки.

Таблица. **Характеристики генераторов и реле напряжения**

Марка генератора	Марка БРН или ИРН	Частота вращения ротора генератора, $мин^{-1}$		Номинальная сила тока нагрузки, А	Регулируемая величина напряжения, В
		начальная	номиналь-ная		
Г-250	РР-350 РР-350А	950 ± 50 950 ± 50	2100 ± 50 2100 ± 50	14 ± 0,5 14 ± 0,5	13,8…14,5 14…14,7
Г-272	РР-356	1100 ± 50	2350 ± 50	5 ± 0,5	24…28
Г-273	Я-120М	1250 ± 50	2500 ± 50	16 ± 0,5	24…28
Г-288	РР-356 (11.3702)	1500 ± 50	2500 ± 50	24 ± 0,5	24…28
Г-306	РР-350	1550 ± 50	2600 ± 50	12 ± 0,5	13,8…14,5
12.3701	Я-120А	1200 ± 50	4500 ± 50	23 ± 0,5	24…28
13.3701	Я-112А	1200 ± 50	2600 ± 50	12 ± 0,5	13,8…14,5
15.3701	Я-112А	1150 ± 50	4500 ± 50	42 ± 0,5	13,8…14,5

Измеренное напряжение должно находиться в переделах паспортных или табличных данных для данной марки генератора.

Увеличить частоту вращения ротора до номинального значения. В процессе увеличения частоты вращения ротора напряжение не должно отличаться от паспортных или табличных данных.

Установить переключателями ступенчатой нагрузки и ручной плавной нагрузки переносного блока силу тока нагрузки, равную $^1/_2$ номинальной силы тока для данной марки генераторной установки (величину силы тока нагрузки следует контролировать по амперметру, встроенному в переносной блок нагрузки).

В процессе увеличения силы тока нагрузки напряжение на выводах генераторной установки должно находиться в пределах паспортных или табличных данных.

При обнаружении неисправности регулятора напряжения или отклонения величины регулируемого напряжения от нормы регулятор следует снять и заменить новым (конструктивно БРН и ИРН не подлежат регулировке и ремонту и в случае неисправности заменяются новыми).

Проверка стартера цифровым анализатором ВТ-12 позволяет выявить чрезмерную силу тока стартера, которая затрудняет запуск двигателя и сокращает срок эксплуатации аккумуляторной батареи. Перед проведением данной проверки следует выполнить проверку нагрузочной способности батареи и запомнить полученное показание напряжения.

Если проверка нагрузочной способности показала плохое состояние батареи, то проверку стартера проводить нельзя. Двигатель должен быть прогрет до нормальной рабочей температуры.

Для проверки стартера необходимо подключить зажимы анализатора к батарее и, руководствуясь данными табл. 2.26, найти минимальное напряжение, допустимое при работе стартера. После этого включить стартер двигателя и измерить напряжение при его работе.

Таблица. **Проверка стартера цифровым анализатором ВТ-12**

Напряжение при проверке нагрузочной способности анализатором, В	10,2	10,4	10,6	10,8	11,0	11,2	11,4
Минимальное напряжение при работе стартера, В	7,7	8,2	8,7	9,2	9,7	10,2	10,6

Например, если напряжение при проверке нагрузочной способности было 11,0 В, то минимальное допустимое напряжение при работе стартера должно составлять 9,7 В.

Если при работе стартера напряжение ниже минимально допустимого, то сила тока стартера при пуске двигателя чрезмерна. Причиной этому могут быть плохие контакты, неисправность электродвигателя стартера или несоответствие используемой батареи данному транспортному средству.

При снятии стартера с трактора можно проверить состояние его обмоток, щеток и контактных колец аналогично проверке данных элементов генератора.

Проверка технического состояния стартера в режиме полного торможения. Для проверки технического состояния стартера в режиме полного торможения аккумуляторная батарея должна быть заряжена.

Далее необходимо включить прямую передачу и стояночным тормозом надежно затормозить машину. Обжать зажимами токового преобразователя провод положительного вывода АКБ и подключить токовый преобразователь к цифровому мультиметру: красный провод (+) – к гнезду «input», черный провод (–) – к гнезду «com».

Установить переключатель рода работ токового преобразователя в положение «А», а переключатель рода работ цифрового мультиметра –в положение «Y» (измерение сигнала от токового преобразователя). Рукояткой DCA ZERO установить показание цифрового мультиметра, равное нулю.

Подключить токовые клещи к клеммам аккумулятора, соблюдая полярность. Переключатель режима работ токовых клещей установить в положение «20 DCU» (измерение постоянного напряжения). При напряжении бортовой сети, равном 24 В (две АКБ, соединенные последовательно), токовые клещи подключаются к двум батареям – крайним выводам (+ и –).

определить силу тока, а по токовым клещам – напряжение.

Показания измерительных приборов сравниваются с данными табл. 2.27 или паспортными данными на стартер.

Пониженное значение силы тока указывает на увеличенное сопротивление цепи стартера. Необходимо проверить состояние всех контактных соединений (наконечников проводов, контактов тягового реле, коллектора и щеточного узла).

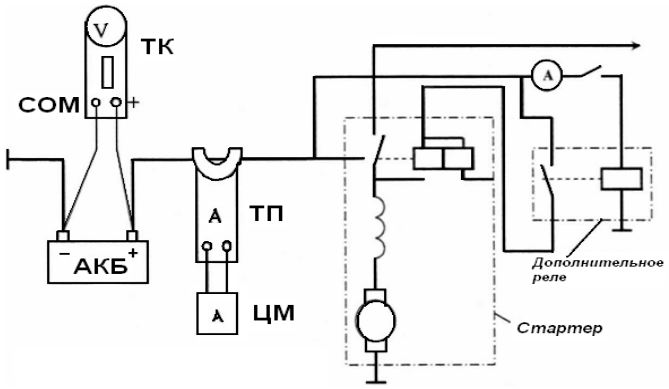


Рис. Схема подключения измерительных приборов при проверке стартера в режиме полного торможения: ТК – токовые клещи; ТП – токовый преобразователь RS1520; ЦМ – цифровой мультиметр MS8221

Затем необходимо включить стартер на 3 с и по цифровому мультиметру

Если значение силы тока повышенное, стартер снимают для проверки состояния его обмоток и отправляют в ремонт.

Таблица. **Техническая характеристика стартеров**

Показатель	Значения										
	СТ50	СТ81	СТ100	СТ114Г	СТ350	СТ212	СТ130	СТ103	СТ222	СТ142	СТ212
Номинальная мощность, кВт	2,6	0,9	5,1	0,4	0,4	3,3	1,02	8,0	2,0	8,8	3,5
Сила тока при полном торможении, А	1200	600	650	230	240	1350	650	900	950	800	1450

Ресурсное диагностирование систем зажигания

Неисправности систем зажигания приводят:

- к трудности или невозможности запуска двигателя;
- к неравномерности работы или прекращению работы двигателя;
- к детонации (взрывному сгоранию), вызывающей быстрый износ и поломки отдельных деталей двигателя;
- к нарушению работы электронных систем двигателя за счет высокого уровня электромагнитных помех и пр.

Проверка исправности катушек зажигания. Состояние катушек зажигания можно оценить с помощью омметра или мультиметра, измерив сопротивления первичной и вторичной обмоток. При отклонениях величин сопротивлений от нормативных значений катушку зажигания следует заменить.

Сопротивление первичной обмотки исправной катушки должно находиться в пределах, указанных в табл. Если прибор показывает сопротивление, близкое к нулевому значению, то это явный признак междувиткового замыкания в обмотках. Бесконечно большое сопротивление указывает на обрыв цепи.

Таблица 2.28. **Характеристики катушек зажигания**

Марка	Сопротивление первичной обмотки, Ом	Сопротивление вторичной обмотки, кОм	Коэффициент трансформации ω_2 / ω_1	Добавочный резистор
Б1	1,55…1,70	3,7…4,5	56	Никель НП2
Б114	0,37…0,41	21,5…23,0	227	СЭ107
Б115	1,86…2,00	8,3…9,2	68	Б115
Б116	0,78…0,79	15,6	153	СЭ107
Б117	3,10…3,30	6,3…9,2	78,5	–
Б118	0,72…0,73	15,0	115	СЭ325
27.3705	0,40…0,50	4,5…5,5	82	–
29.3705	0,45…0,55	11,0	90	–
30.3705	0,40…0,55	6,3…6,4	70	–

После проверки первичной обмотки следует проверить вторичную обмотку. В этом случае к измерительному прибору подсоединяют положительный контакт катушки, другой провод прибора соединяют с высоковольтным выводом. Значение сопротивления должно быть в пределах, указанных в табл. 2.28.

Причинами выхода из строя катушки зажигания могут быть попадание влаги, масла, образование чрезмерно большого зазора между электродами свечей зажигания, перегрев катушек.

Катушки зажигания окончательно проверяются на стенде КИ-968 по величине пробиваемого искрового промежутка (не менее 7 мм) и силе тока в первичной обмотке, которая при номинальных оборотах не должна превышать 1 А.

Индивидуальные катушки зажигания проверяются мультиметром в режиме измерения сопротивления от 0 до 2 МОм.

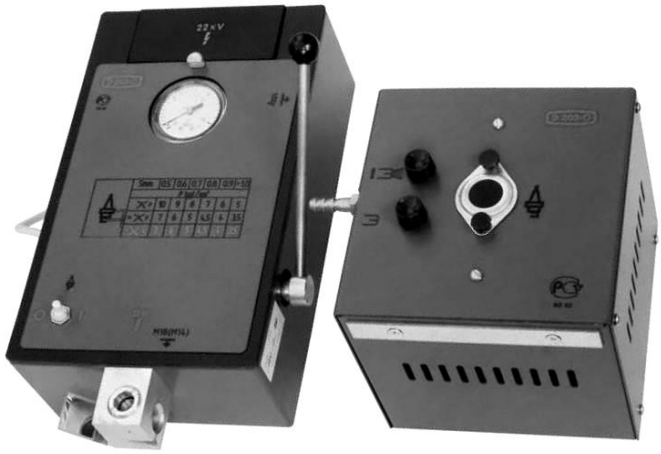
Для проверки первичной обмотки индивидуальной катушки зажигания (ИКЗ) прибор подключают к контактам 1 и 3 разъема (рис. 2.78, *а*) – контактам входа и выхода первичной обмотки. Полярность подключения не имеет значения. Прибор должен показать около 0,8 Ом. Если показаний нет, то в первичной обмотке обрыв и катушка зажигания подлежит выбраковке.

При проверке состояния вторичной обмотки катушки переключатель прибора следует перевести в диапазон измерений до 2 МОм, а щупы прибора подключить, соблюдая полярность: красный – к пружинному контакту внутри резинового колпачка подключения свечи, черный – к контакту 2 разъема. При ис-

правной вторичной обмотке ее сопротивление должно быть в пределах 300…400 кОм.

Проверка свечей зажигания. Свеча зажигания воспламеняет искровым разрядом рабочую смесь в цилиндре. Конструкция свечи неразборная.

Исправность свечи проверяют на комплекте приборов Э 203, включающем в себя прибор для пескоструйной очистки свечи (Э 203-О) и прибор проверки свечей под давлением воздуха 0,5…1,0 МПа (Э 203-П).



Свеча считается исправной, если при указанном давлении воздуха (табл.) будет бесперебойное искрообразование без разброса искры.

Таблица. **Испытательное давление в камере**

Зазор между электродом, мм	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Испытательное давление, МПа	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5

Для проверки свечи ее необходимо ввернуть в отверстие воздушной камеры прибора Э 203-П, надеть наконечник высоковольтного провода на свечу. Включить подачу напряжения на свечу включением режима «Проверка» и, поднимая давление ручным воздушным насосом, наблюдать за искрообразованием между электродами свечи через верхнее смотровое окошко или боковое зеркало-отражатель. У нормально работающей свечи визуально должно наблюдаться бесперебойное искрообразование между электродами во всем диапазоне давлений воздуха. Через боковое зеркало должен наблюдаться светлый ореол вокруг центрального электрода.

При пробое изолятора через боковое зеркало будут видны искры пробоя. У неисправной свечи через верхнее стекло будут наблюдаться перебои или разброс искры.

Для очистки свечи от нагара необходимо установить ее в отверстие с резиновой манжетой прибора Э 203-О, включить подачу воздуха в прибор от внешнего компрессора под давлением 0,5…0,6 МПа и пальцем одной руки нажать на кнопку «Песок», покачивая свечу в разные стороны другой рукой. Время пескоструйной очистки – не более 10 с. После этого нажать на кнопку «Воздух» и обдуть рабочую часть свечи. Выключить подачу воздуха.

Проверка состояния датчиков системы зажигания.

Датчик положения коленчатого вала. Зазор между сердечником датчика и диском синхронизации должен быть в пределах 0,5…1,5 мм. Зазор регулируется изменением числа прокладок между датчиком и посадочным гнездом.

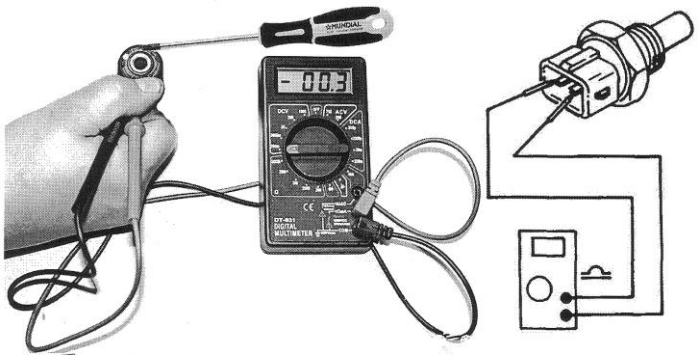
Сбои в работе датчика возможны из-за намагничивания диска синхронизации. Диск можно размагнитить с помощью любого сетевого трансформатора.

Датчик положения коленчатого вала можно проверить, измерив сопротивление обмотки датчика мультиметром или омметром. Сопротивление должно быть в пределах 850…900 Ом.

Датчик детонации. При возникновении неисправности датчика он устанавливает заведомо позднее зажигание, чтобы исключить вероятность разрушения двигателя. В результате силовой агрегат работает, но начинает потреблять гораздо больше топлива. Ухудшается динамика машины, что особенно заметно при повышенных нагрузках.

Основные симптомы, указывающие на то, что датчик вышел из строя: падение мощности, ухудшение разгонных характеристик и резкое увеличение расхода топлива, дымный выхлоп. При этом на панели загорается индикатор неисправности двигателя. Причем он может гореть постоянно или загораться кратковременно при увеличении нагрузки.

Проверить исправность датчика можно, замерив напряжение на его электрических контактах. Для этого необходимо отсоединить электрический разъем питания и снять датчик с двигателя. После этого мультиметр переводится в режим измерения напряжения в милливольтах, его плюсовой щуп соединяется с сигнальным контактом, а минусовой – с корпусом датчика.



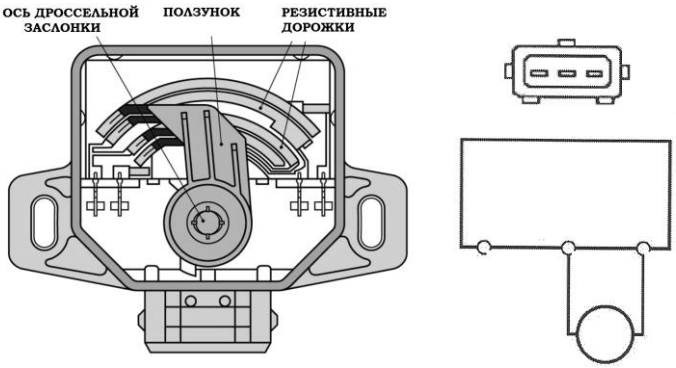
Проверка заключается в том, что датчик с присоединенными щупами зажимается в руке, затем им следует несильно постучать по какой-нибудь поверхности или слегка постучать по корпусу датчика. При ударах мультиметр должен фиксировать появление напряжения (обычно оно составляет порядка 30…40 мВ). Чем сильнее удар, тем большая разность потенциалов возникнет между электродами. Полное отсутствие разности потенциалов свидетельствует о том, что датчик детонации неисправен.

Состояние датчика можно оценить также, замерив сопротивление чувствительного элемента. Если сопротивление находится в пределах 120…180 кОм, то датчик исправен.

Датчик положения дроссельной заслонки (ДПДЗ). Основные признаки выхода из строя датчика: неустойчивая частота вращения коленчатого вала двигателя («плавает»), остановка работы двигателя при резком сбросе педали акселератора, провалы при наборе скорости (создается такое впечатление, что в двигатель не поступает топливо), при движении машина может не реагировать на педаль акселератора, частота вращения коленчатого вала двигателя может «зависнуть» на уровне 1,5…3 тыс. мин$^{-1}$ и не опускаться даже при выключенной передаче на холостом ходу.

То есть признаки неисправности данного элемента напрямую связаны с работой двигателя, и любая его некорректная работа может свидетельствовать о неисправности датчика. При появлении хотя бы одного из перечисленных признаков следует проверить работоспособность ДПДЗ.

Проверить исправность датчика дроссельной заслонки можно с помощью мультиметра или омметра, замерив сопротивление резистивных дорожек.



Для проверки необходимо при закрытой дроссельной заслонке измерить сопротивление между контактом массы «1» и контактом сигнала для блока управления «3». Сопротивление должно быть в пределах 0,7…1,4 кОм.

После этого необходимо открыть дроссельную заслонку и повторить измерение сопротивления. Сопротивление должно составлять от 2,3 до 2,7 кОм.

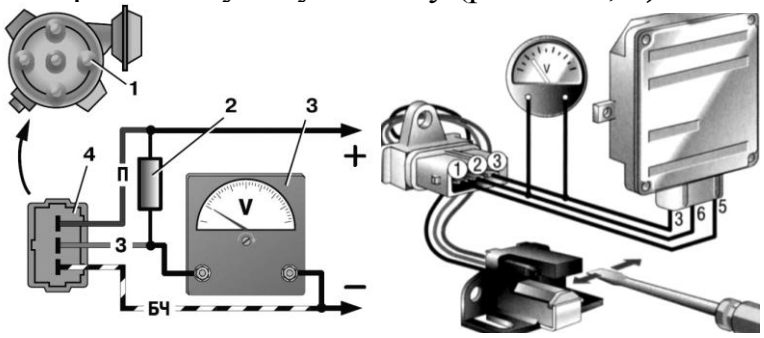
Затем проверяется сопротивление при промежуточных положениях дроссельной заслонки, оно должно плавно изменяться в пределах от 1,6 до 2,4 кОм. Резкие скачки или провалы сопротивления говорят об износе резистивных дорожек.

Датчик остаточного кислорода в отработавших газах. Признаки неисправности датчика кислорода: неустойчивая работа двигателя на малых оборо-

тах, повышенный расход топлива, ухудшение динамических характеристик автомобиля, на некоторых автомобилях загорание лампы «CHECK ENGINE» при установившемся режиме движения.

Исправность датчика кислорода можно проверить мотор-тестером или осциллографом. При выходе датчика из строя сигнал низкого уровня повышается (до 0,2 В и более), а сигнал высокого уровня снижается (до 0,8 В и менее). При этом увеличивается время переключения датчика из низкого в высокий уровень. Если длительность переключения превышает 300 мс, то датчик неисправен. Неисправный датчик подлежит замене.

Датчик Холла (импульсный датчик распределителя зажигания). Признаками неисправности датчика Холла являются плохой запуск двигателя или перебои в его работе. Для проверки датчика Холла необходимо снять распределитель зажигания и собрать следующую схему (рис. 2.83, *а*).



а *б*

Рис. Схема проверки датчика Холла без снятия (*а*) и со снятием (*б*) с распределителя зажигания: *1* – распределитель зажигания; *2* – резистор; *3* – вольтметр; *4* – штепсельный разъем

Между плюсовым контактом «П» (провод красного цвета) и сигнальным контактом «З» (провод зеленого цвета) штепсельного разъема датчика подсоединяется резистор с сопротивлением 2 кОм. Затем между сигнальным контактом «З» и массой «БЧ» (провод черного цвета) подсоединяется вольтметр с пределом шкалы не менее 15 В и внутренним сопротивлением не менее 100 кОм. На плюсовой контакт датчика подается напряжение в пределах 8…14 В.

В процессе проверки, вращая вал распределителя или помещая в зазор датчика плоское жало отвертки, определяют напряжение на выходе датчика. Напряжение должно меняться в пределах от 0,3 до 3…4 В. Большие значения напряжения соответствуют прохождению металлической лопасти обтюратора через зазор датчика или при помещенном в него жале отвертки.

Ресурсное диагностирование электронных систем автомобилей сканером

Автосканер – это диагностический тестер, который получает доступ к внутрисистемной информации электронного блока управления (ЭБУ) автомобиля и выдает эту информацию на дисплей компьютера.

Портативность сканера позволяет использовать его при ездовых испытаниях. Получение информации в реальном масштабе времени облегчает обнаружение нерегулярных неисправностей.

Сканер предназначен для непосредственного взаимодействия с компьютером электронного блока управления автомобиля, благодаря чему позволяет контролировать внутрисистемные компьютерные операции.

Все автосканеры делятся на мультимарочные и дилерские приборы.

Мультимарочные сканеры позволяют охватить большой перечень марок и моделей машин. Они обладают стандартным набором функций, вследствие чего нашли широкое применение в мастерских по обслуживанию большого перечня марок автомобилей.

Дилерские приборы – это автосканеры, которые работают по одной или нескольким маркам автомобилей и позволяют осуществлять сложные функции при диагностике. Они применяются в мастерских авторизованных дилеров различных марок автомобилей, и выбор их сводится к рекомендациям автопроизводителей.

Автомобильный системный сканер состоит из аппаратной части (основной модуль *4*), программного обеспечения *3* и набора необходимых для работы кабелей и адаптеров.

Основной модуль Bosch KTS 540 *4* включает две панели: панель диагностики и измерений и панель присоединений.

На диагностической части панели расположен разъем *5* для подключения кабеля с адаптером OBD. Он служит для связи основного модуля с разъемом электронного блока управления системами автомобиля. На измерительной части панели расположены входы *1, 3* и *4* для подключения измерительных проводов и вход *2* для подключения массы.

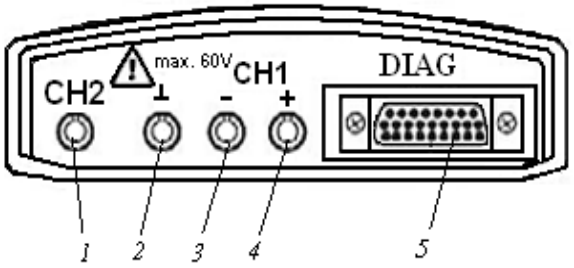


Рис. Панель диагностики и измерений: *1* – измерительный вход CH2 (только для KTS 570); *2* – подключение массы; *3* – измерительный вход CH1 (–); *4* – измерительный вход CH1 (+); *5* – разъем для подключения диагностического кабеля с адаптером OBD (DIAG)

На панели присоединений располагается вход *3* для подключения соединительного провода USB, который служит для связи основного модуля с персональным компьютером. Кроме того, на этой панели имеется вход *1* для соединения сетевого кабеля с источником питания, а также два светодиода A и B, по которым можно судить о правильности работы основного модуля.

Схема электрических соединений основного модуля Bosch KTS 540 с разъемом электронного блока управления системами автомобиля представлена на рис.

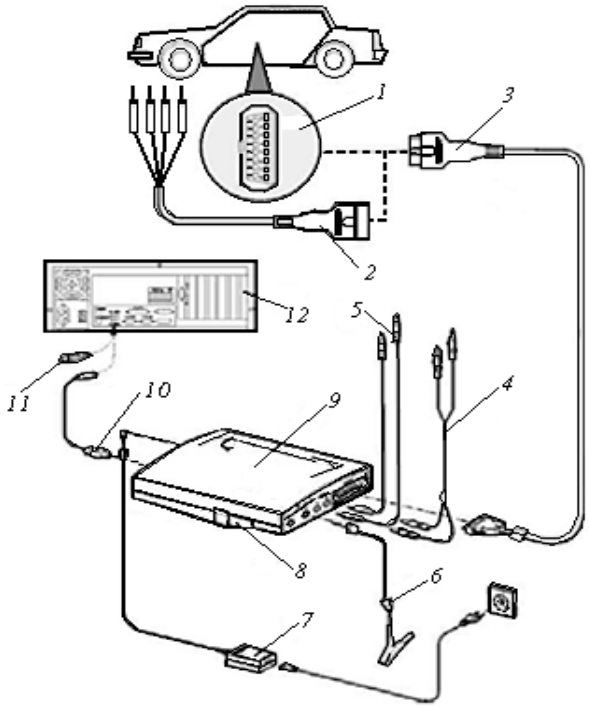


Рис. Схема электрических соединений KTS 540: *1* – интерфейс встроенной диагностики (OBD) в автомобиле; *2* – соединительный кабель UNI (интерфейс «пользователь – сеть»); *3* – диагностический провод встроенной диагностики (OBD); *4, 5* – измерительные провода; *6* – кабель заземления; *7* – источник питания; *8* – сменная вставка (IBOX 01); *9* – основной модуль; *10* – соединительный провод USB; *11* – USB-адаптер Bluetooth; *12* – персональный компьютер

Порядок проверки ЭБУ автомобиля сканером Bosch KTS 540. Все системные тестеры Bosch KTS 540 работают с программным обеспечением ESI[tronic], которое позволяет провести диагностику по определенному алгоритму, сравнить фактически снятый параметр с заводским, ознакомиться с электросхемами и расположением узлов систем и многое другое. Программа на 90 % русифицирована, удобное и понятное управление позволяет быстро освоить все функциональные возможности. Справочная система дает исчерпывающую информацию, которая может помочь в диагностике конкретного автомобиля. Каждое обновление добавляет от 200 до 400 блоков управления.

После входа в программное обеспечение ESI[tronic] на компьютере необходимо произвести идентификацию автомобиля. Для этого следует ввести страну производителя, вид автомобиля, тип двигателя, марку и модель.

По завершении идентификации автомобиля необходимо нажать вкладку «Диагностика» в окне программы. На мониторе компьютера появится окно под названием «Обзор системы».

Далее необходимо подключить автосканер к разъему ЭБУ (если расположение разъема ЭБУ неизвестно, его можно посмотреть, обратившись к справке

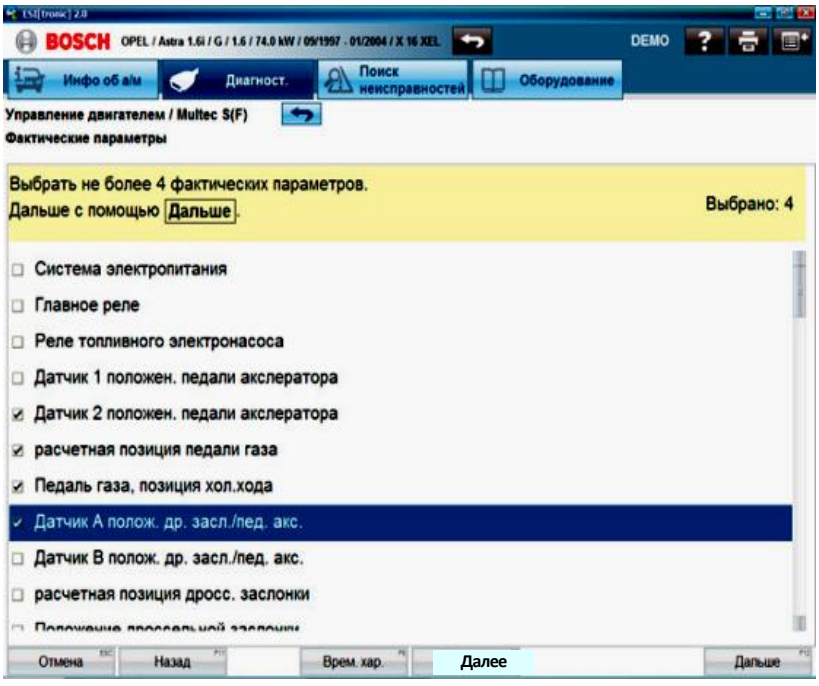
программного обеспечения ESI[tronic], нажав клавишу «Диагностический разъем» в левом нижнем углу в окне «Обзор системы». На экране появится окно, в котором будет описано и показано схематически место расположения диагностического разъема, а также таблица расположения выводов.

После подключения автосканера к разъему ЭБУ следует включить зажигание автомобиля и нажать курсором мышки вкладку «Поиск системы» в правом нижнем углу в окне «Обзор системы».

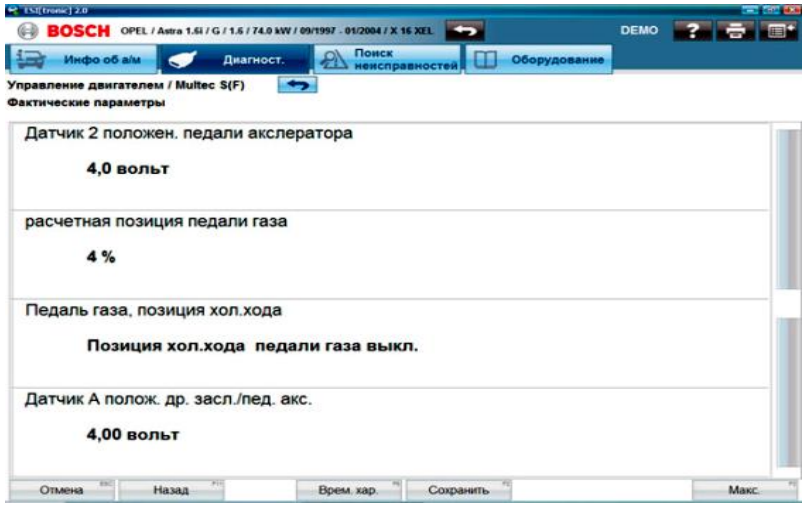
На экране отобразятся все системы автомобиля: управления двигателем, ABS и т. д. (в зависимости от комплектации автомобиля). Далее осуществляем обзор систем управления двигателем на наличие ошибок и производим их чтение (память неисправностей) и сброс (стирание памяти неисправностей).

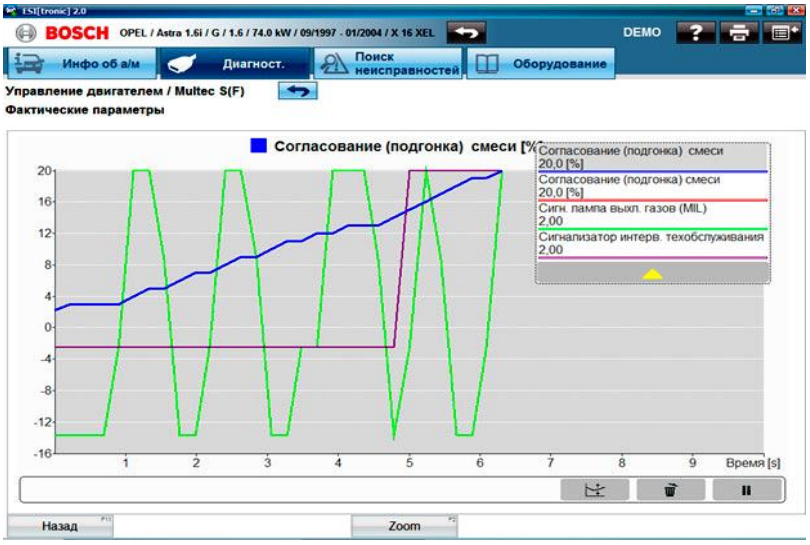
Чтобы убедиться, что ошибки удалены, необходимо выключить зажигание автомобиля, отключить разъем сканера от разъема автомобиля, запустить двигатель и дать ему поработать некоторое время, затем заглушить двигатель, подключить сканер к автомобилю. Если при повторном подключении к ЭБУ автомобиля ошибки появились вновь, необходимо произвести поэлементную проверку источника ошибки.

Чтобы провести диагностику по фактическим параметрам, необходимо нажать «Фактические параметры» в окне диагностики системы управления двигателем, далее сделать выбор фактических параметров из списка. Затем следует нажать клавишу «Далее», расположенную в правом нижнем углу окна, и запустить двигатель автомобиля в работу.



Значения фактических параметров могут выводиться на монитор как в цифровом виде, так и в графическом.





Измеренные фактические параметры необходимо сравнить с технической документацией, чтобы сделать заключение об исправности или неисправности датчика или узла.

После окончания диагностирования следует выключить зажигание автомобиля и отсоединить диагностический разъем автосканера от ЭБУ автомобиля.

4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

В основу методов прогнозирования остаточного ресурса положены зависимости ресурса оборудования от его наработки, установленные по конкретным видам деградационных процессов и введенные в государственные стандарты. Для прогнозирования остаточного ресурса оборудования этими методами необходимо установить, что является основной причиной потери работоспособности оборудования, определить фактические, действующие на оборудование нагрузки (спектры нагрузок) и при соответствии условий эксплуатации требованиям стандартов выполнить расчеты по установленным стандартами зависимостям.

Методы прогнозирования остаточного ресурса составных частей машин. Для прогнозирования остаточного ресурса машин, отказы которых вызывают процессы накопления повреждений, рекомендуется использовать РД 50-490-84 «Методические указания. Техническая диагностика. Методика прогнозирования остаточного ресурса машин и деталей по косвенным параметрам».

Среди параметров технического состояния различают прямые и косвенные параметры.

Прямой параметр технического состояния – это параметр технического состояния машины, непосредственно характеризующий конкретное свойство объема или его составной части и определяющий его предельное состояние.

Косвенный параметр технического состояния – это параметр технического состояния, связанный с прямым параметром технического состояния детерминированной или стохастической зависимостью, изменяющийся в результате изменения прямых параметров технического состояния.

Прогнозирование остаточного ресурса машин по косвенным параметрам основано на одновременном выполнении условий:

– известны физические процессы, приводящие к ресурсным отказам, а также математические модели изменения прямых (структурных) и косвенных (диагностических) параметров;

– для каждого прямого параметра технического состояния установлены предельные значения, достижение которых определяет величину ресурса по данному параметру;

– в процессе наблюдения за изменением технического состояния изделия имеется возможность фиксации параметров, отражающих индивидуальные особенности изделия;

– имеется информация о функциональных или регрессионных соотношениях между прямыми и косвенными параметрами технического состояния;

– зависимость между математическими ожиданиями прямых и косвенных параметров технического состояния является монотонной и непрерывной.

Определение остаточного ресурса по косвенным параметрам технического состояния сопровождается, в общем случае, тремя видами погрешностей:

– погрешностями измерения косвенных параметров;

– погрешностями, связанными со случайной природой физических процессов развития отказов;

– методическими погрешностями определения прямых параметров технического состояния по значениям косвенных параметров.

Математическое описание процесса изменения параметра технического состояния Y(t) (после приработки) основано на аппроксимации каждой реализации данного процесса случайной функцией следующего вида:

$$Y(t) = Kt^{\alpha} + z(t),$$

где K – случайное для группы одноименных составных частей, но неизменное для каждой реализации случайного процесса значение показателя скорости изменения параметра;

α – показатель степени аппроксимирующей функции, характеризующий конструктивные особенности составной части;

z(t) – нормальный стационарный случайный процесс отклонений фактических значений параметра от аппроксимирующей степенной функции каждой реализации процесса Y(t).

Статистические характеристики случайного процесса z(t) при $t > 0{,}3\ T_{ср}$ следующие:

$$M\left[z(t)\right] = 0;\ D = \left[z(t)\right] = \sigma^2;\ R\left[z(t), z(t+\Delta t)\right] = R(\Delta t);$$

$$f\left[z(t_к)\right] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\exp\left[-\frac{z^2(t_к)}{2\sigma^2}\right].$$

Средний остаточный ресурс составных узлов вычисляют на основе информации об изменении параметра ее технического состояния $Y_к$ и о наработке $t_к$ к моменту контроля по приближенной формуле:

$$t_{ост}^{ср} = t_к\left[\left(\frac{Y_п}{Y_к}\right)^{1/2} - 1\right]K_t.$$

При $\sigma < 0{,}03\ Y_п$ можно не учитывать поправочный коэффициент K_t.

Точно условный средний остаточный ресурс определяют по формуле:

$$t_{ост}^{ср} = \int_0^{\infty} t_{ост}\, dQ\left[\frac{t_{ост}}{Y(t_к)} = Y_к\right],$$

где $Q\left[\frac{t_{ост}}{Y(t_к)} = Y_к\right]$ – условная вероятность отказа (условие состоит в том, что в момент tк значение отклонения параметра составляет Yк).

Для определения остаточного ресурса с заданной вероятностью безотказной работы и оптимального остаточного ресурса используют уравнения, куда

входит условная вероятность отказа $Q\left[\frac{t_{ост}}{Y(t_к)}\right]$, являющаяся функцией условного распределения остаточного ресурса.

Для практических вычислений рекомендуется рассчитать таблицы и номограммы остаточного ресурса. Пример такой таблицы, где значения остаточного ресурса нормированы в единицах межконтрольной наработки, приведен в ГОСТ 27.302–86, ГОСТ Р 53006–2008 и ОСТ 153-39.4-010–2002.

Необходимую точность оценки рекомендуемый метод обеспечивает в том случае, если изменение параметра технического состояния к моменту контроля составляет не менее половины предельного отклонения параметра $Y_п$ и при соблюдении условия $t_{ост} < 0{,}5t_к$.

При выполнении всех приведенных условий погрешность рекомендуемого метода прогнозирования не превышает 8…9 %.

Оценка остаточного ресурса по изменениям контролируемого параметра. В тех случаях, когда показатели назначения оборудования монотонно изменяются по времени (наработке), а дисперсия показателей не изменяется, для прогнозирования остаточного ресурса может быть использован метод, изложенный в ГОСТ 23942-80.

Правила стандарта разработаны для линейного изменяемого параметра:

$$Y(t) = C_1+C_2t$$

квадратичного изменяемого параметра

$$Y(t) = C_1+C_2t+C_3t$$

и экспоненциального законов изменения показателя назначения

$$Y(t) = \exp (C_1+C_2t)$$

где C_1, C_2, C_3 – неизвестные коэффициенты,

$$t = t_i - t_0,\ t \geq 0$$

где t_0 – начальное значение наработки узла.

Для использования метода, рекомендованного в ГОСТе, необходимо убедиться в том, что изменение контролируемого параметра подчиняется одному из описанных законов, а его дисперсия не изменятся с увеличением наработки узла.

Показатель назначения оценивают по измеренным значениям контролируемого параметра

$$Y_i = F(t_i) +\Delta i;\ i = 1,...,N$$

где t_i – значение наработки в i-й момент измерения

$$t_c \leq t_1 \leq t_2 \leq \ldots \leq t_N$$

Δi – неограниченная случайная величина с дисперсией D, симметрично распределенная относительно математического ожидания, равного нулю, либо симметрично распределенная, ограниченная случайная величина, для которой при всех значениях наработки выполняется условие

$$-\Delta \le \Delta(t) \le \Delta,\ 0 < \Delta < \infty$$

Число измерений N выбирают из условия

$$N > 2m$$

где m – количество неизвестных коэффициентов закона изменения параметра, рекомендуется выбирать $N \ge 11$.

Моменты измерения t_i выбирают таким образом, чтобы случайные величины Δi были практически независимыми.

Теоретической основой ГОСТ 23942–80 является оценка соответствующих показателей на базе общеизвестного метода наименьших квадратов.

При линейном законе изменения параметра рекомендуется следующий порядок прогнозирования.

1. Проводят N измерений $Y_i (i = 1, 2,..., N)$ контролируемого параметра в определенные моменты времени t_i.

2. Вычисляют величины:

$$Y_1 = \sum Y_i;\ Y_2 = \sum t_i Y_i;$$

$$X_1 = \sum t_i;\ X_2 = \sum t_i^2;$$

$$D = N\sum t_i^2 - \left(\sum t_i\right)^2;\ D_{22} = \frac{N}{D};$$

$$D_{11} = \sum \frac{t_i}{D};\ D_{12} = D_{21} = -\sum \frac{t_i}{D},$$

где через Σ обозначают сумму по i от 1 до N.

3. Вычисляют точечные оценки коэффициентов:

$$C_1 = Y_1 D_{11} + Y_2 D_{21};\ C_2 = Y_1 D_{12} + Y_2 D_{22}.$$

4. Вычисляют оценку среднего квадратического отклонения параметра

$$\sigma = \sqrt{\frac{S}{N-2}},$$

где $S = \sum (Y_i - C_1 - C_2 t_i)^2$.

5. Вычисляют средние квадратические отклонения коэффициентов C_1 и C_2:

$$\sigma_1 = \sigma\sqrt{D_{11}};\ \sigma_2 = \sigma\sqrt{D_{22}}.$$

6. Вычисляют гарантированные оценки коэффициентов:

$$C_j = C_j \pm K\sigma_j\ \ (j = 1;2),$$

где (+) берется при возрастающем параметре, (–) – при убывающем;

$$K = 1{,}282 \text{ (при } \gamma = 0{,}9);\ 1{,}6459 (\gamma = 0{,}95);\ 2{,}326 (\gamma = 0{,}99),$$

где γ – доверительная вероятность.

7. Вычисляют средний (ожидаемый) ресурс

$$T_{\text{ср}} = \frac{Y_{\text{п}} - C_1}{C_2 - t_{\text{к}}},$$

где $t_к$ – наработка на момент последнего контроля.

8. Вычисляют гарантированный остаточный ресурс

$$T_{\gamma} = \frac{Y_{\text{п}} - C_1}{C_2 - t_{\text{к}}}.$$

Прогнозирование остаточного ресурса при известной наработке от начала эксплуатации

Чтобы определить остаточный ресурс конкретной составной части, мастер-диагност должен располагать исходными данными.

Определение остаточного моторесурса машин и оборудования $Р_{ост}$ показано на схеме (рисунок), где закономерность изменения контролируемого параметра представлена кривой.

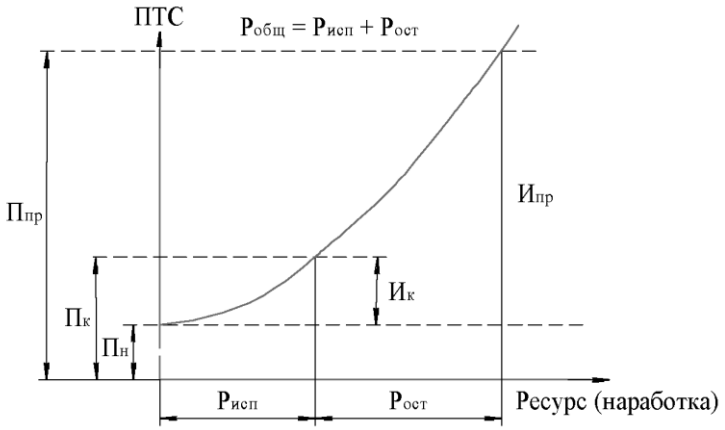


Рис. Схема определения остаточного моторесурса машин и оборудования:
$Р_{исп}$ – использованный ресурс к моменту контроля;
$И_к$ – изменение значения параметра к моменту контроля (диагностирования);
$И_{пр}$ – предельное изменение значения параметра; $Р_{ост}$ – остаточный ресурс

Изменение значения параметра к моменту контроля или диагностирования можно определить по формуле

$$И_к = П_к - П_н,$$

где $П_к$ и $П_н$ – значения параметра к моменту контроля на начало эксплуатации машины.

Предельное изменение значения параметра определяется по формуле:

$$И_{пр} = П_{пр} - П_н,$$

где $П_{пр}$ – предельное значение параметра машины.

Имея все эти данные $Р_{ост}$ определяют по формуле

$$P_{\text{ост}} = P_{\text{исп}}\left[\left(\frac{\text{И}_{\text{пр}}}{\text{И}_{\text{к}}}\right)^{\frac{1}{\alpha}} - 1\right].$$

При α > 1 и α < 1 зависимость значений параметров технического состояния составных частей машины и оборудования от продолжительности работы (наработки) носит криволинейный характер, причем при α > 1 кривая обращена выпуклостью вниз, при α < 1 – вверх. При α = 1 указанная зависимость линейна.

При α = 1 выражение определения $P_{ост}$ примет следующий вид:

$$P_{\text{ост}} = P_{\text{исп}}\left(\frac{\text{И}_{\text{пр}}}{\text{И}_{\text{к}}}\right) - 1.$$

По данным ГОСНИТИ, значения α находятся в пределах 0,8–2,0.

Значения $П_{пр}$, $П_{н}$, α рассчитывают заранее, их заносят в технологию диагностики технического состояния машин для использования при определении $P_{ост}$.

Таким образом, для определения остаточного ресурса какого-либо сопряжения необходимо сделать замеры соответствующего параметра и знать наработку к моменту замера. Определение остаточного ресурса машин и установление на этой основе времени их безотказной работы позволит сократить число отказов в процессе эксплуатации и увеличить межремонтную наработку.

Методика прогнозирования остаточного ресурса при неизвестной наработке от начала эксплуатации

При прогнозировании остаточного ресурса сведения о наработке отдельных составных частей машины от начала эксплуатации иногда отсутствуют.

В подобных случаях остаточный ресурс определяют по значениям параметров, устанавливаемым при предыдущем и повторном диагностировании, а также наработке tм между первым и вторым измерениями.

Изменение параметра от начала эксплуатации до первой и второй проверок определяется по формуле

$$U_1 = П_1 - П_н \text{ и } U_2 = П_2 - П_н$$

где $П_1$ и $П_2$ – значения параметра, измеренные при первой и второй проверках технического состояния машины.

В этом случае остаточный ресурс $t_{ост}$ определяется по формуле

$$t_{\text{ост}} = Rt_{\text{ост}}^{\text{усл}},$$

где R – коэффициент, учитывающий темп износа сопряжения (детали) между двумя измерениями (проверками);

$t_{\text{ост}}^{\text{усл}}$ – условный остаточный ресурс.

$$R = \frac{1}{\sqrt[\alpha]{\frac{U_2}{U_1} - 1}} + 1.$$

Условный остаточный ресурс

$$t_{\text{ост}}^{\text{усл}} = t_{\text{м}}\left(\sqrt[\alpha]{\frac{U_{\text{пр}}}{U_2}} - 1\right),$$

где $t_м$ – межконтрольная наработка (за время работы между первой и второй проверками).

$$t_{\text{ост}} = t_{\text{м}}\left(\frac{1}{\sqrt[\alpha]{\frac{U_2}{U_1}} - 1} + 1\right)\left(\sqrt[\alpha]{\frac{U_{\text{пр}}}{U_2}} - 1\right).$$

Таким образом, при неизвестной наработке от начала эксплуатации для определения остаточного ресурса необходимо измерить значение контролируемого параметра не менее двух раз и знать наработку за время работы между этими измерениями. Предельное и номинальное значения параметра берутся из инструкции по эксплуатации машин.

Методика определения остаточного ресурса при отсутствии данных о наработке с начала эксплуатации до момента диагностирования

В большинстве случаев у мастера по диагностике нет сведений о наработке с начала эксплуатации диагностируемой машины.

Прогнозирование технического состояния возможно и в этом случае.

Однако необходимо получить информацию о результатах двух последовательных измерений диагностического параметра и наработке между ними. Остаточный ресурс при отсутствии данных о наработке с начала эксплуатации до момента диагностирования проводится по методике прогнозирования остаточного ресурса при неизвестной наработке от начала эксплуатации. Тогда остаточный ресурс можно оценить по следующей формуле:

$$t_{\text{ост}} = Rt'_{\text{ост}},$$

где R – поправочный коэффициент;

$t'_{\text{ост}}$ – условный остаточный ресурс оборудования.

Поправочный коэффициент можно рассчитать по формуле

$$R = \frac{1}{\sqrt[\alpha]{\frac{U''}{U'}} - 1} + 1,$$

где U″ и U′ – изменение параметра оборудования и машины, определенные при первом и втором диагностировании.

$$U' = \Pi' - \Pi_{\text{ном}} \text{ и } U'' = \Pi'' - \Pi_{\text{ном}},$$

где П′ и П″ – значения параметра машины и оборудования при первом и втором диагностировании.

Тогда остаточный ресурс можно определить по следующей формуле:

$$t_{\text{ост}} = \tau_{\text{д}} \left(\sqrt[\alpha]{\frac{U_{\text{пр}}}{U''}} - 1 \right),$$

где $\tau_{\text{д}}$ – наработка машины между проверками.

Таким образом, для определения остаточного ресурса при отсутствии данных о наработке с начала эксплуатации до момента диагностирования необходимо определить изменение параметра машин, определенных при диагностировании, а также знать наработку машины между проверками.

Методы прогнозирования остаточного ресурса составных частей машин

В процессе эксплуатации машин техническое состояние их элементов зависит от эксплуатационных, конструктивных и технологических факторов. Предсказать техническое состояние машины можно прогнозированием, на основе которого дается заключение о целесообразности проведения технического воздействия (ремонта, замены, регулировки). Прогнозирование при известных нормативных значениях диагностических параметров решает задачи определения остаточного ресурса и периодичности диагностирования.

После сравнения измеренного значения диагностического параметра с нормативным (предельным или допускаемым) его значением делается заключение об остаточном ресурсе и соответственно о необходимости проведения тех или иных технических воздействий.

Когда остаточный ресурс больше предстоящего межконтрольного цикла, то техническое воздействие на диагностируемый элемент не осуществляется. Если остаточный ресурс меньше межконтрольного цикла и диагностический параметр достиг своего допускаемого значения, то осуществляется техническое воздействие.

Метод прогнозирования остаточного ресурса машины или отдельного его элемента применяется при отсутствии информации об изменении параметра в прошлом.

При реализации этого метода используется функция среднего изменения диагностического параметра, ее среднеквадратичное отклонение и средние данные по предельному состоянию, полученные для группы однотипных элементов. Метод имеет большую погрешность в оценке остаточного ресурса отдельных элементов.

Метод заключается в предсказании изменения диагностического параметра с учетом его предельного значения и индивидуального изменения в прошлом, а также характера изменения, выявленного для всей совокупности однотипных элементов. При прогнозировании по этому методу принимается, что изменение параметра диагностируемого элемента характеризуется экстраполяциопной функцией и среднеквадратичным отклонением этой функции от фактического изменения параметра. Этот метод позволяет получать более достоверный прогноз остаточного ресурса, чем метод прогнозирования по среднему статистическому изменению параметра.

Прогнозирование остаточного ресурса с помощью математических моделей. Аппаратный поиск неисправностей необходим не только для устранения отказов, но и для прогнозирования остаточного и прогнозируемого ресурсов. Это одна из важнейших задач, которую приходится решать при переходе на ремонт по техническому состоянию.

Сложность прогнозирования заключается в том, что приходится привлекать математический аппарат, который не всегда дает достаточно точный (однозначный) ответ. Тем не менее, без него обойтись в этом случае нельзя.

Решение задач прогнозирования весьма важно, в частности, для организации планово-предупредительного ремонта объектов по техническому состоянию (вместо обслуживания по срокам или по ресурсу).

Непосредственное перенесение методов решения задач диагностирования на задачи прогнозирования невозможно из-за различия моделей, с которыми приходится работать: при диагностировании моделью является описание оборудования, в то время как при прогнозировании необходима модель процесса совершенствования технических характеристик оборудования во времени. В результате диагностирования каждый раз определяется не более чем одна «точка» указанного процесса совершенствования для текущего момента (интервала) времени. Тем не менее, хорошо организованное диагностическое обеспечение машины с хранением всех предшествующих результатов диагностирования может дать полезную и объективную информацию, представляющую собой предысторию (динамику) развития процесса изменения технических характеристик машины в прошлом, что может быть использовано для систематической коррекции прогноза и повышения его достоверности.

Прогнозирование остаточного ресурса методом экспертных оценок. При расчете остаточного ресурса чаще всего возникают трудности, связанные с отсутствием объективной информации, необходимой для принятия решений по методу экспертных оценок.

В большинстве случаев такие решения принимаются на основе учета мнений квалифицированных специалистов (экспертов) путем проведения экспертного опроса. При этом экспертные заключения дает рабочая группа, общее мнение которой формируется в результате дискуссии.

Существует несколько способов экспертной оценки, а именно: непосредственная оценка, ранжирование (ранговая корреляция), попарное сопоставление, балл (балльные оценки) и последовательные сопоставления. Все эти способы отличаются как подходами к постановке вопросов, на которые отвечают эксперты, так и проведением экспериментов и обработкой результатов опроса. Вместе с тем их объединяет общее – знания и опыт специалистов в данной области.

Наиболее простым и объективным способом экспертной оценки является способ непосредственной оценки, который широко применяется для определения остаточного ресурса на основе диагностирования технического состояния машин. Достоинства этого способа – высокая точность результатов расчета, а

также возможность одновременного прогнозирования ресурса сразу по нескольким типам машин.

Для экспертной оценки ресурса машин на предприятии создается постоянно действующая рабочая группа, которая разрабатывает необходимую документацию, организует процедуру опроса экспертов, обрабатывает и анализирует полученную информацию.

Руководителем рабочей группы должно быть ответственное лицо, осуществляющее, по мере необходимости, определение остаточного ресурса машин и дающее заключение о продолжительности работы без остановки на капитальный ремонт на определенное время (до очередного текущего ремонта). Он согласовывает с главным инженером предприятия состав рабочей группы, составляет программу, принимает участие в опросе экспертов, анализирует предварительные результаты.

В состав рабочей группы помимо непосредственных исполнителей целесообразно включать технических работников обслуживающих технические средства, стаж которых по эксплуатации и ремонту данных машин составляет не менее пяти лет.

В обязанности рабочей группы входит:

– подбор специалистов-экспертов;

– выбор наиболее приемлемого метода экспертных оценок и в соответствии с этим разработка процедуры опроса и составления опросных листов;

– проведение опроса;

– обработка материалов опроса;

– анализ полученной информации;

– синтез объективной и субъективной информации с целью получения оценок, необходимых для принятия решений.

Руководитель рабочей группы перед организацией экспертного опроса должен представить экспертам максимально возможное количество объективных данных по диагностированию всех агрегатов, узлов, соединений и деталей по каждой единице машин, имеющихся в распоряжении рабочей группы, паспорта, ремонтные журналы и другую техническую документацию за весь срок службы машин.

Путем проведения инструктажа необходимо информировать экспертов об источниках возникновения данного вопроса, путях решения сходных вопросов в прошлом на других предприятиях и машинах, т. е. повысить квалификацию (информативность) экспертов в данном вопросе.

При отработке экспертных опросных листов следует особое внимание обратить на правильность задаваемых вопросов. Вопросы должны быть краткими (да, нет), не должны допускать двойного толкования.

Для проведения экспертного опроса подготавливаются специальные опросные листы.

При организации экспертного опроса рабочая группа должна учитывать, что эксперту, как любому человеку, трудно без значительной ошибки выносить решения в случаях, когда имеются более семи альтернатив, например, назна-

чать вес (значительность) более чем семи свойствам (показателям). Поэтому нельзя представлять экспертам список из нескольких десятков свойств (показателей) и требовать от них назначить веса этим свойствам (показателям).

В тех случаях, когда требуется оценить большое количество свойств (факторов, показателей, параметров), их необходимо предварительно разделить на однородные группы (по функциональному назначению, принадлежности и пр.) так, чтобы число показателей, входящих в однородную группу, не превышало 5–7.

После ознакомления экспертов с состоянием исследуемого вопроса руководитель рабочей группы раздает им опросные листы и пояснительные записки. При этом наиболее авторитетный сотрудник рабочей группы разъясняет экспертам те положения опросного листа, которые недостаточно хорошо ими поняты.

Получив заполненный опросный лист, руководитель рабочей группы при необходимости задает эксперту вопросы для уточнения полученных результатов. Это позволяет выяснить, правильно ли поняты экспертом вопросы опросного листа и действительно ли ответы соответствуют его истинному мнению.

В процессе опроса сотрудники рабочей группы не должны высказывать эксперту свои суждения о его ответах, чтобы не навязывать ему своего мнения. После обработки результатов опроса проводится ознакомление каждого эксперта со значениями оценок, назначенными всеми другими экспертами, входящими в экспертную группу. Каждый эксперт, ознакомившись с анонимными мнениями других экспертов, вновь заполняет опросный лист.

Допускается проведение и открытого обсуждения результатов опроса. Каждый эксперт при этом имеет возможность кратко аргументировать свои суждения и критиковать другие мнения. Для исключения возможного влияния служебного положения на мнение экспертов желательно, чтобы эксперты высказывались в последовательности от младшего к старшему (по служебному положению).

В подавляющем большинстве случаев двух туров опроса бывает вполне достаточно для принятия обоснованного решения. В случаях, когда требуется повысить точность оценок путем увеличения объема статистической выборки (количеством ответов), а также при низкой согласованности мнений экспертов, экспертный опрос может быть проведен в три тура.

Результатом опроса является определение искомого параметра прогнозирования на основе анализа ответов экспертов. Полученный по экспертным оценкам показатель следует рассматривать как случайную величину, отражением которой является индивидуальное мнение эксперта. Когда значение какого-либо показателя неизвестно, относительно него у специалиста-эксперта всегда имеется интуитивная информация.

Естественно, что эта информация в известной мере является неопределенной, и степень неопределенности зависит от уровня знаний и технической эрудиции специалиста-эксперта. Задача рабочей группы заключается в том, чтобы извлечь эту неясную информацию и придать ей математическую форму. После

получения ответов от каждого эксперта необходимо проверить степень согласованности мнений экспертов.

Оценка остаточного ресурса по изменениям контролируемого параметра

Возможность прогнозирования величины остаточного ресурса обеспечивается при одновременном наличии следующих условий:

– на основании обследования известны параметры технического состояния машин;

– известны определяющие параметры технического состояния, изменяющиеся соответственно выявленному механизму повреждения элементов машины;

– известны критерии предельного состояния машины, достижение предельных значений которых возможно при развитии выявленных дефектов.

На основе анализа существующих методов в оценке остаточного ресурса машин, сложившихся на сегодняшний день, можно выделить несколько направлений.

Оценка остаточного ресурса оборудования, имеющего цикличный характер работы

Основой этого метода принят постулат о базовом числе рабочих циклов оборудования, в рамках которого напряжения в оборудовании не превышают предел выносливости (σ_R). Метод принят для оценки остаточного ресурса грузоподъемного оборудования, но может быть применен и для других машин, имеющих цикличный характер работы (Например, машин для внесения удобрений или опрыскивателей).

Оценка остаточного ресурса машин с использованием в расчетах рабочих циклов нагружения.

Основа метода заключается в расчете общего количества рабочих циклов, выполненных оборудованием за весь период эксплуатации машины, и сравнения этой величины с нормативным количеством рабочих циклов согласно паспортным данным рассматриваемой машины.

Для этого в соответствии с ИСО 4301/1–86 определяют класс использования механизма и режим его нагружения.

Класс использования U_i определяется в зависимости от максимального числа рабочих циклов $N_ф$, выполненных машиной за весь период ее эксплуатации.

$$N_ф = C_с D_г Y_к,$$

где $C_с$ – среднесуточное число циклов работы машины;

$D_г$ – число рабочих дней в году;

$Y_к$ – фактический срок службы машины.

Режим нагружения Q_i связан с числом загрузки машины, выраженной в долях, например, вместимости машины. Он определяется в зависимости от ко-

эффициента распределения нагрузок $К_р$ для машины, рассчитываемого по формуле:

$$K_{\text{р}} = \sum \left[\left(\frac{P_i}{P_{\max}} \right)^3 \frac{C_i}{C_t} \right],$$

где P_i – значение масс груза (уровни нагрузок) при типичном применении машины, кг;

P_{max} – масса наибольшего груза, кг;

C_i – среднее число циклов работы с частным уровнем массы груза, $C_i = C_1$, C_2, C_3, ..., C_n, кг;

C_t – число циклов работы с массой груза.

Зная группу классификации (режима) работы машины в целом (берется из паспорта оборудования), имеем максимальное количество рабочих циклов, которые может выполнить данная машина $N_н$. Тогда ресурс рассматриваемой машины по количеству циклов нагружения определяется по формуле

$$N_{ост} = N_н - N_ф$$

Оценка остаточного ресурса машин с использованием в расчетах часов наработки. Суть метода заключается в расчете общего количества часов, отработанных машиной за весь период эксплуатации, и сравнения этой величины с нормативным количеством часов работы согласно данным производителя о нормативном сроке службы машины.

Класс использования T_i механизма характеризуется предполагаемой общей продолжительностью эксплуатации в часах $X_ф$. Максимальную общую продолжительность эксплуатации определяют исходя из предполагаемого среднего суточного времени использования в часах, числа рабочих дней в году и ожидаемого срока службы в годах.

Для классификации установлено под временем работы машины время, в течение которого данная машина находился в рабочем процессе.

$$X_ф = Y_н Z_г,$$

где $Z_г$ – число часов, отработанных оборудованием в году, ч;

$Y_н$ – нормативный срок службы оборудования, ч.

Режим нагружения L_i связан с числом рабочих циклов машины, загруженной определенной массы, выраженной в долях ее вместимости. Он определяется в зависимости от коэффициента распределения нагрузок $К_m$ и рассчитывается по следующей формуле:

$$K_m = \sum \left[\left(\frac{P_i}{P_{\max}} \right)^3 \frac{t_i}{t_T} \right],$$

где t_i – средняя продолжительность использования машины при частных уровнях нагрузки – P_i, ч;

t_T – общая продолжительность при всех частных уровнях нагрузки, ч;

P_i – значение отдельных масс при применении данной машины;

P_{max} – значение наибольшей нагрузки, приложенной к машине.

Зная группу классификации машины в целом (берется из паспорта установки), имеем максимальное количество часов наработки, которые она может выполнить ($X_н$). Тогда ресурс машины по количеству часов наработки определится по формуле:

$$X_{ост.\ норм} = X_н - X_ф$$

где $X_н$ – максимальное количество часов наработки, которое может выполнить машина, ч;

$X_ф$ – фактическое количество часов наработки данной машиной, ч.

Оценка остаточного ресурса машин по параметрам технического состояния

Большая часть механических и технологических отказов проявляется постепенно в изменении одного или нескольких параметров.

Контролируемыми параметрами могут быть как непосредственно измеряемые величины повреждений (глубина коррозии, износ детали), так и рабочие параметры оборудования (производительность, скорость, давление) и другие эксплуатационные показатели, параметры вибрации, шума и т. д.

В соответствии с ГОСТ 27.002–89 отказом машины считается нарушение ее работоспособного состояния. Остаточным ресурсом называют запас возможной наработки машины от момента контроля ее технического состояния до перехода в предельное состояние, в течение которого обеспечивается соответствие, требованиям НТД всех его основных технико-эксплуатационных показателей и показателей безопасности.

Оценка остаточного ресурса машины по параметрам коррозии.

Данный метод оценки удобно применять к машинам для внесения удобрений и опрыскивателям, так как они работают в условиях коррозионной среды или подвергается абразивному износу.

Поскольку различные участи поверхности металла при эксплуатации могут подвергаться различной интенсивности коррозии (износа), то полученные данные необходимо проверить на однородность.

Для этого последовательно проверяют выборки на однородность по критерию Стьюдента.

Коэффициент вариации глубины коррозии по поверхности определяют по формуле

$$\nu = \frac{\sigma}{h},$$

где σ – среднее квадратическое отклонение контролируемого параметра;

h – средняя глубина коррозии, мм.

Величина коэффициента вариации ν ориентировочно может быть выбрана:

– при малой неравномерности коррозии (износа) $\nu \leq 0{,}2$;

– при значительной коррозии $\nu = 0{,}3–0{,}5$;

– при сильной коррозии $\nu > 0{,}5$.

Доверительную вероятность γ выбирают не менее 0,90, максимальную допустимую относительную ошибку Δ – 0,10.

По известному значению ν по справочнику выбирают значения параметров распределения Вейбулла b и K_b.

По средней глубине коррозии (износа) определяют значение параметра масштаба

$$a = \frac{h}{K_b}.$$

Максимальную вероятную глубину коррозии (износа) на всей поверхности, подлежащей обследованию, определяют расчетом по формуле

$$h_{\max} = a\left[-\ln\left(-\ln\left(\frac{\gamma}{F/F_o}\right)\right)\right]^{\frac{1}{b}},$$

где γ – требуемая достоверность оценки;

F – площадь поверхности, подлежащая обследованию, м^2;

F_o – площадь поверхности, приходящаяся на одно измерение, м^2.

Прогнозирование остаточного срока службы машины вычисляют на основании расчета остаточного срока службы основных ее элементов и определения минимального значения этой величины:

$$T = \min T_i$$

Остаточный срок службы детали машины оценивают по формуле

$$T_i = \frac{\left(\overline{\delta}^i - [\delta]^i_m\right)}{\overline{C^i}},$$

где δ^i – средняя толщина i-го элемента, мм;

$[\delta]^i_m$ – минимально допустимая толщина i-го элемента, мм;

C^i – средняя скорость коррозии (износа) i-го элемента, мм/год;

$$\overline{C^i} = \frac{h_i}{T_1},$$

где h_i – средняя глубина коррозии (износа) i-го элемента, мм;

T_1 – время эксплуатации машины, лет.

Скорость коррозии (износа) детали может значительно отличаться от средней величины. Тогда с учетом разброса:

$$C^i_{\substack{\max \\ \min}} = C_i\left(1 \pm \alpha\right),$$

где α – коэффициент, учитывающий разброс скоростей коррозии (износа).

При ν = 0,2 получают α = 0,88, при ν = 0,5 α = 0,575, при ν = 0 α = 1.

Максимальную скорость коррозии (износа) можно определить из зависимости:

$$C^i_{\max} = 2C^i.$$

Минимальная допустимая толщина деталей машины $[\delta]^i_{min}$ принимается с учетом показателей прочности и устойчивости.

Тогда остаточный срок машины по критерию повреждений, связанных с коррозией и износом, определяется по формуле

$$T_r^i = \frac{\delta_{min}^i - [\delta]_{min}^i}{C_{max}^i}.$$

Оценка остаточного ресурса машины по параметрам повреждаемости.

Данный метод используется в случаях, когда спрогнозировать остаточный ресурс по одному из деградационных процессов (сплошной коррозии, изнашиванию, ползучести) не представляется возможным. Данный метод предполагает укрупненную дефектовку узлов машины, подвергаемой диагностированию методами разрушающего и неразрушающего контроля с последующей экспертной оценкой их состояния.

Общая оценка поврежденности конструкций машины производится по формуле

$$\varepsilon = \frac{\alpha_1 p_1 к_{д1} + \alpha_2 p_2 к_{д2} + \ldots + \alpha_i p_i к_{дi}}{\alpha_1 + \alpha_2 + \ldots + \alpha_i},$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_i$ – коэффициенты «весомости» отдельных узлов машины;

$p_1, p_2, \ldots, p_i$ – максимальные величины износа отдельных узлов машины, мм;

$к_{д1}, к_{д2}, \ldots, к_{дi}$ – коэффициенты долговечности детали (узла) машины.

Частные величины износа P_i для разных деталей (узлов) машины определяются по формуле

$$P_i = \frac{\sum \gamma_i p_i}{100},$$

где γ_i – удельный вес детали (узла) в машине, %;

p_i – износ детали (узла), %.

Частные коэффициенты долговечности для разных узлов машины определяются по формуле

$$K_д = \frac{a}{a + Q_{реал.\ норм} N_{ср}},$$

где а – количество одноименных элементов в машине;

$Q_{реал.\ норм}$ – количество реально выполненного машиной объема работ за нормативный срок эксплуатации (масса внесенных удобрений или пестицидов, перевезенного груза, объем перемещенного груза и т. п.);

$N_{ср}$ – средняя норма смены элементов.

Относительная оценка поврежденности машины производится по формуле

$$\gamma = 1 - \varepsilon.$$

Постоянная износа определяется по данным обследования:

$$\lambda = \frac{-\ln \gamma}{t_{\text{ф}}},$$

где $t_{\text{ф}}$ – срок службы на момент проведения экспертизы, год.

Срок службы машины определяется (в годах) по формуле

$$T_{\text{остат. норм}} = \frac{K_{\text{бр}}}{\lambda},$$

Окончательно остаточный ресурс машины (лет) по параметрам повреждаемости будет равен:

$$T_{\text{ост}} = (T_{\text{ост. норм}}\ T_{\text{пост. норм}})K_{\text{восст}}$$

где $T_{\text{пост. норм}}$ – количество времени, которое машина отработала по истечению нормативного срока службы, лет;

$K_{\text{восст}}$ – коэффициент восстановления машины вследствие ТО и ремонтов. Определяется в процессе экспертного обследования по фактическому состоянию оборудования, $K_{\text{восст}}$ = 1,0…2,0.

Оценка остаточного ресурса оборудования по параметрам производительности

Данный метод подходит для машин с известными, паспортными, характеристиками производительности. Данные производительности того или иного вида машин берутся из их паспорта или по данным завода-изготовителя. При расчете остаточного ресурса по параметрам производительности принимается, что в период нормативного срока эксплуатации машина работала с примерно одинаковой производительностью, не превышающей паспортные данные. Обслуживание машины производилось своевременно согласно рекомендациям «Руководства по эксплуатации».

Вначале рассчитывается проектное (паспортное) количество реально выполненного машиной объема работ за год ($Q_{\text{пр./год}}$), исходя из t часовой смены эксплуатации (гектары обработанной почвы, объем перемещенного (внесенного) материала и т. п.).

$$Q_{\text{пр./год}} = \frac{Q_{\text{пр./смену}} T_{\text{час/году}}}{t_{\text{смены}}}.$$

Далее рассчитывается количество реально выполненного машиной объема работ ($Q_{\text{пр./норм}}$) за нормативный срок эксплуатации ($T_{\text{норм}}$).

$$Q_{\text{пр./норм}} = Q_{\text{пр./год}}\ T_{\text{норм}}.$$

Количество объема работ, не использованное машиной за нормативный срок эксплуатации:

$$Q_{\text{ост./норм}} = Q_{\text{пр./норм}} - Q_{\text{реал./норм}}.$$

Для расчета остаточного ресурса вычисляем отношение между не использованным машиной объемом работ и реальным объемом, выполненным машиной за год.

$$T_{\text{ост.норм}} = \frac{Q_{\text{ост./норм}}}{Q_{\text{пр./год}}}.$$

Окончательно остаточный ресурс будет равен:

$$T_{\text{ост}} = (T_{\text{ост.норм}} - T_{\text{пост.норм}})K_{\text{восст}}$$

где $T_{\text{пост. норм}}$ – количество времени, которое машина отработала по истечению нормативного срока службы.

Оценка остаточного ресурса машин по параметрам наработки

Это наиболее простой метод оценки остаточного ресурса, который возможно применять для машин непрерывного действия. Он основывается на допущении, что такие машины должны эксплуатироваться непрерывно весь нормативный срок эксплуатации согласно рекомендациям «Руководства по эксплуатации» и других документов на предприятии, регламентирующих порядок обслуживания и ремонта данных машин.

Исходя из опыта экспертного обследования достаточно большого числа различных машин, можно сделать вывод о том, что они используются на предприятиях не с полной нагрузкой и не используются определенное количество времени. Сравнивая время наработки машины за нормативный срок эксплуатации, согласно условиям непрерывной работы – наибольшее проектное число рабочих часов ($T_{\text{макс. пр.}}$) и количество фактически отработанных часов ($T_{\text{факт}}$), – получаем время, при котором машина не использовалось ($T_{\text{остат}}$).

Проектное число рабочих часов определяется по формуле

$$T_{\text{пр}} = C_{\text{с}}\, D_{\text{г}}\, Y_{\text{к}},$$

где $C_{\text{с}}$ – количество часов в сутках, ч;

$D_{\text{г}}$ – количество рабочих дней в году, дн.;

$Y_{\text{к}}$ – нормативный срок службы оборудования, лет.

Максимально возможное нормативное число рабочих часов с учетом выполненных восстановительных ремонтов и режимов работы

$$T_{\text{макс.пр}} = \frac{T_{\text{пр}} K_{\text{восст}} P_{\text{пасп}}}{P_{\text{факт}}},$$

где $K_{\text{восст}}$ – коэффициент восстановления машины вследствие ремонтов. Определяется в процессе экспертного обследования по фактическому состоянию оборудования, $K_{\text{восст}} = 1{,}0\ldots2{,}0$.

$P_{\text{пасп}}$ – наибольший паспортный параметр машины, характеризующий ее рабочий процесс (скорость, производительность и т. п.);

$P_{\text{факт}}$ – наибольший фактический параметр машины, характеризующий ее рабочий процесс (скорость, производительность и т. п.).

Количество фактически отработанных часов машиной с учетом коэффициента использования

$$T_{\text{факт}} = T_{\text{макс.пр}}\, K_{\text{исп}}\, Y_{\text{факт}},$$

где $K_{\text{исп}}$ – коэффициент использования машины;

$Y_{факт}$ – фактический срок службы машины.

Количество часов, которые не использованы машиной, определяется по формуле

$$T_{ост./норм} = T_{макс.пр} - T_{факт}.$$

Остаточный ресурс определяется как отношение между неиспользованным количеством часов и количеством часов работы машины за год.

$$T_{ост} = \frac{T_{ост./норм}}{T_{год}}.$$