

ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Литвиненко В.Л., к.т.н., доц.; Саблина М.А., аспирант
*Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства имени Петра Василенко*

Рассмотрены основные методы прогнозирования надежности транспортных средств на основе априорной информации по результатам проведенного диагностирования их технического состояния

При оценке и (или прогнозировании) надежности транспортных средств требуется определенная информация о возникающих отказах, о процессах, приводящих к отказам, об изменении во время работы параметров и свойств отдельных элементов машины, характеризующих их надежность (действующие нагрузки, износ деталей и др.).

Такую информацию обычно получают в результате проведения испытаний машин в реальных условиях их эксплуатации или в специальных, искусственно создаваемых и управляемых скоростных, нагрузочных и др. условиях на стендах и полигонах [1].

Объектом испытания может быть все изделие (машина, агрегат) или его отдельные элементы (узлы, детали). В таком случае испытания называются соответственно полнокомплектными или поэлементными. Классификационным признаком испытаний может быть также жизненный цикл объекта; в этом случае различают испытания опытных образцов и объектов, которые выпускаются серийно. В зависимости от меры, степени расходования ресурса испытания подразделяют на полные, при которых все испытываемые объекты доводятся до предельного состояния, и цензурированные, при которых у некоторой части объектов ресурс не исчерпан. Испытания классифицируют также по виду деградационных процессов, приводящих к отказу, а именно - усталостные, износные, коррозионные, комплексные испытания. При доработке конструкции и технологии изготовления новой машины, изделия, с целью оценки влияния внесенных изменений на уровень надежности, проводят доводочные испытания.

Подавляющая часть транспортных средств, их узлов и деталей является восстанавливаемыми объектами. Восстановление работоспособности машин проводится устранением отказов в процессе эксплуатации и ремонтом на специализированных предприятиях. Соответственно отказы называются эксплуатационными и ресурсными.

Эксплуатационные отказы возникают обычно из-за случайных при-

чин, обусловленных зачастую комбинацией неблагоприятных факторов, возникающих при эксплуатации изделий с пониженными свойствами, реализованными при конструировании, а чаще всего изготовлении машин. Причинами эксплуатационных отказов являются различные мелкие нарушения установленных правил, норм конструирования, производства и ремонта машин, эксплуатации машин; это отказы, которых обычно не ожидают. Для устранения таких отказов чаще всего не требуется проведение трудоемких разборочно-сборочных и регулировочных работ, работоспособность машины восстанавливается простой заменой отказавшего элемента (детали, сопряжения) или регулировкой узла. При этом восстанавливается работоспособность машины только за счет отказавшего элемента; остаточный ресурс других, в т. ч. основных узлов машины не изменяется.

Примерами эксплуатационных отказов транспортных средств могут быть отказы, связанные с наступлением предельного состояния отдельных деталей из-за их предельного износа, усталостных поломок; возникновение течи смазки из уплотнений и сальников редукторов, ослабление креплений резьбовых соединений узлов, нарушение регулировок и т.п. По таким отказам обычно оценивается безотказность машины с помощью таких показателей, как средняя наработка на отказ, коэффициент готовности машины, интенсивность отказов и др. В то же время отказ детали, характеризующийся его физической сущностью (разрушение, износ, усталость материала и пр.), может рассматриваться для нее как ресурсный, характеризующий ее долговечность. Оценка надежности в этом случае производится показателями долговечности - средним и гамма – процентным ресурсами, вероятностью безотказной работы.

Важнейшим отличием ресурсных отказов машин от эксплуатационных является необходимость выполнения трудоемких разборочно-сборочных, регулировочных и др. работ, стоимость которых обычно существенно превышает стоимость отказавшего элемента. При этом, кроме восстановления работоспособности отказавшего элемента восстанавливается начальный (или межремонтный) ресурс основных деталей и сопряжений. В связи с подобной квалификацией можно сказать, что для машины эксплуатационные отказы характеризуют ее безотказность; ресурсные - долговечность.

Долговечность автомобилей и их узлов характеризуют преимущественно средним ресурсом, а также гамма - процентным ресурсом до ремонта, трудоемкостью технического обслуживания - средней суммарной трудоемкостью или стоимостью технического обслуживания.

Повреждения и отказы транспортных средств можно объединить в следующие группы: повреждения усталостного характера (выкрашивание поверхностей, трещины, изломы и т. п.); износ валов, втулок и т. д.; повреждения резинотехнических изделий; неисправности вследствие нару-

шения регулировок; прогорание прокладок, газопроводов; течь масла и пр.

Причиной большинства постепенных отказов автомобилей является износ. Повышение износостойкости и восстановление деталей при ремонте в автомобилестроении производят с помощью наплавки и покрытий.

Эксплуатационные испытания, проводимые в экспериментально-производственных автохозяйствах, дают наиболее объективную информацию о надежности автомобиля, но они характеризуются большой длительностью. Поэтому в настоящее время оценку долговечности машины получают главным образом с помощью испытаний, длительность которых существенно сокращена по сравнению с эксплуатационными испытаниями из-за ужесточения режимов нагружения узлов. Такие испытания проводят обычно на полигонах и стендах.

Тракторы работают в абразивной среде, поэтому основным критерием их работоспособности является износостойкость. Ударные нагрузки от твердых включений в почве делают необходимым встраивание в рабочие органы машин предохранительных муфт или использование передач, обладающих предохраняющей способностью от перегрузок (например, ременных). Ресурс тракторов нормируют не в километрах пробега, как автомобилей, а в часах, что, в частности, связано с сезонностью их работы и хранением под открытым небом, при котором потеря работоспособности из-за коррозии пропорциональна времени. Для тракторов сложилась практика нормирования и оценки ресурса агрегатов по 80%-ному ресурсу. Его обычно назначают кратным времени работы машины в течение нескольких сезонов.

К информации о надежности относятся также результаты диагностирования технического состояния машины или ее элементов.

Цель диагностирования — определение работоспособности машины в данный момент времени, выявление дефектов ее отдельных узлов, и, на основании полученной информации - прогнозирование надежности.

Прогнозирование технического состояния означает определение будущего состояния машины на основании изучения тех факторов, от которых это состояние зависит. Прогнозирование может осуществляться как в процессе разработки, так и в период эксплуатации машины. В последнем случае целью прогнозирования является своевременное обнаружение неблагоприятного состояния машины и разработка рекомендаций по повышению уровня его надежности. Основная задача испытаний по прогнозированию — предсказать количественные характеристики надежности машины в будущем, предвидеть полный ресурс, остаточный ресурс, вероятность безотказной работы и т. д.

Основопологающим принципом прогнозирования является использование прошлого опыта. Информация о машине (априорная) является

базой для процесса прогнозирования и получения оценок в будущем (апостериорные оценки). Прогноз можно понимать как получение апостериорной оценки некоторого качества исследуемого явления на основе априорных сведений о прошлом и настоящем. В период эксплуатации апостериорной оценкой является надежность машины после проведения контроля ее состояния. Надежность, рассчитанная на предыдущем этапе, является априорной, а контроль рассматривается как опыт, по результатам которого оценивается апостериорная надежность. Таким образом, вычислению прогнозируемой характеристики всегда должны предшествовать опыт, эксперимент, данные которого используются совместно с априорной информацией.

Различают прогнозирование технического состояния и прогнозирование надежности. В первом случае дается прогноз технических параметров машины либо эти параметры относятся к тому или иному классу, а также дается прогноз отказов машины. Во втором случае дается прогноз количественных показателей надежности на основе прогнозирования постепенных и внезапных отказов.

Прогнозирование может быть групповым и индивидуальным. К методам группового прогнозирования можно отнести статистическую оценку наработки до отказа однотипных изделий на основе результатов контрольных и определительных испытаний на надежность. К достоинствам метода индивидуального прогнозирования относится возможность оценки надежности каждой конкретной машины или отдельного ее элемента.

К решению задачи прогнозирования существуют два подхода — детерминированный и вероятностный. В первом случае задача сводится к отысканию аппроксимирующего выражения, во втором в качестве прогнозируемой характеристики принимается реализация случайной величины, определяющая интервал времени от момента контроля до первого пересечения поля допуска прогнозируемой величины. Поскольку процессы износа, старения машин, обуславливающие развитие постепенных отказов, являются случайными величинами, более общий характер дает вероятностный подход.

На практике наиболее часто применяются три вида прогнозирования, а именно: аналитическое, вероятностное и статистическая классификация [2].

Аналитическое прогнозирование.

Имеется аналитическая зависимость $U=U(t)$ некоторого параметра, характеризующего надежность объекта, например износа U , от наработки t .

Тогда прогноз надежности (ресурс) определяется из решения уравнения $U(T)=U_{\text{пр}}$, где $U_{\text{пр}}$ — предельное значение параметра, при котором

нарушается работоспособность объекта.

Графическое решение задачи показано на рис. 1а.

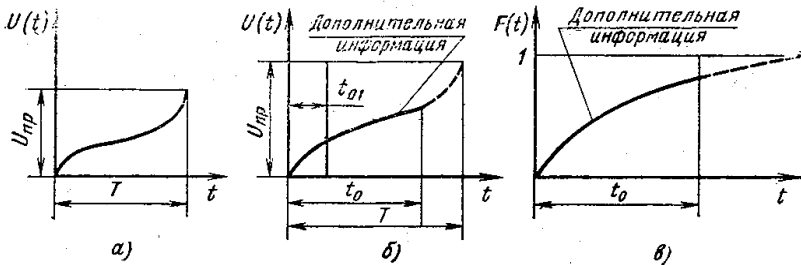


Рис. 1. Аналитическое детерминированное прогнозирование:
 а - при полной информации о параметре; б - при усеченной информации о параметре; в - при усеченной информации о функции распределения

Предполагается, что параметр $U(t)$ детерминировано зависит от времени, и предшествующая информация, позволившая определить функцию $U=U(t)$, с вероятностью, равной единице, отвечает процессу изнашивания нового объекта.

Например, пусть достоверно известно, что средний зазор в соединении вал-втулка изменяется во времени по детерминированной зависимости

$$U=at^b,$$

где a и b - известные константы, определенные из опыта.

Отсюда прогнозируемый средний ресурс $T = b\sqrt[U_{np}]{a}$.

Однако практически при аналитическом прогнозировании редко имеется полная достоверная информация о функциональной зависимости $U=U(t)$. Как правило, имеется информация, заданная рядом точек на ограниченном отрезке наработки (рис. 1б). Задача состоит в том, чтобы по информации, имеющейся на отрезке $t < t_0$, подобрать (аппроксимировать) подходящее аналитическое выражение (функцию), описывающее изменение параметра U на этом отрезке, а также, привлекая дополнительную информацию, и при $t > t_0$. Известен ряд математических методов, например метод наименьших квадратов, позволяющих выполнить эту аппроксимацию.

Аналогично методами аналитического прогнозирования можно, как показано на рис. 1в, прогнозировать функцию распределения наработки до отказа- $F(t)$. Являясь характеристикой случайной величины наработки до отказа t , она сама — неслучайная функция наработки t , обычно с двумя или тремя неизвестными параметрами.

При аналитическом прогнозировании функции распределения наработки до отказа $F(t)$ обычно применяют другие функциональные зависимости, соответствующие законам распределения случайных величин. В практике оценки надежности чаще всего используют закон Вейбулла и нормальный закон распределения наработки до отказа.

Вероятностное прогнозирование.

При этом прогнозировании параметром прогноза является вероятность выхода $F(t)$ или невыхода $R(t)$ некоторого процесса, характеризующего надежность объекта, за установленные границы (вероятности отказа и вероятности безотказной работы соответственно) (рис. 2а). При каждом дискретном значении наработки t_i строится распределение параметра состояния $U(t_i)$, например, износа; по параметру состояния аналитически определяют вероятность выхода его за предельный уровень $U_{пр}$, которая является вероятностью отказа

$$F(t) = \int_{U_{пр}}^{\infty} f(U, t) dU$$

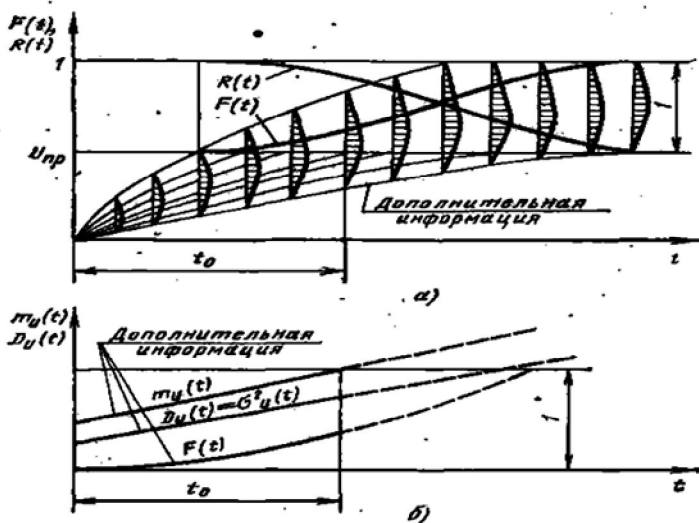


Рис. 2. Вероятностное статистическое прогнозирование: а - по распределению параметра; б - по математическому ожиданию $m_u(t)$ и дисперсии $D_u(t)$

Прогнозные распределения $U(t_i)$ при $t > t_0$ могут быть построены на основании прогнозов математического ожидания и дисперсии параметра $U(t_i)$ (рис.2б). Схема прогнозирования по $m_u(t)$ и $D_u(t)$ по существу не отличается для каждой функции от схемы на рис. 1б. Возможен и другой

вариант прогноза — прогнозируется непосредственно функция $F(t)$ (см. рис.2а). Тогда эта схема не отличается от схемы на рис. 1в.

Статистическая классификация.

Задача прогнозирования в этом случае может быть поставлена так. Работоспособность объекта характеризуется параметрами $U_i(t)$ ($i=1, 2, \dots, n$). Заданы значения этих параметров в момент времени $t=t_0$, где t может быть равно нулю (начальный период эксплуатации). Определить, удовлетворяет ли объект требованиям надежности в момент $t=T$, где T - заданное (нормативное) время его эксплуатации. Графически задача статистической классификации представлена на рис.3 по трем параметрам U_1, U_2, U_3 .

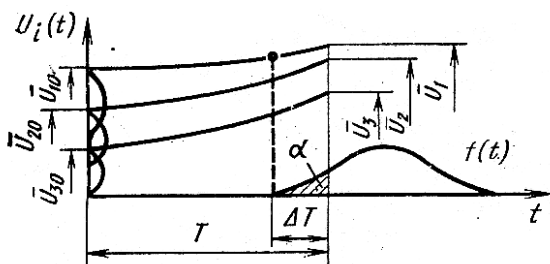


Рис. 3. Статистическое распознавание по распределению параметра

При этом $f(U_1), f(U_2), f(U_3)$ — известные плотности распределения параметров, $f(t)$ — плотность распределения наработки до отказа объекта. Она должна быть известна на основании предварительных исследований. Требованиями надежности допускается вероятность отказа при $t=T$, равная $Q(T)=\alpha$, где α — заштрихованная площадь кривой $f(t)$ левее абсциссы $t=T$.

Для случая известных верхних (экстремальных) детерминированных зависимостей параметров U_i от времени: $U_1(t), U_2(t); U_3(t)$, задавая $t=t_0$ в этих зависимостях, можно найти граничные значения параметров $\bar{U}_{10}, \bar{U}_{20}, \bar{U}_{30}$, при превышении которых объект имеет меньший, чем T , ресурс.

При использовании метода статистической классификации для реализации алгоритма прогнозирования требуется предшествующая информация о начальном распределении параметров, о распределении ресурса объекта и о функциональных зависимостях $U_i(t)$. Для получения такой информации требуется достаточно большая предварительная работа.

Выводы.

Рассмотренные понятия и методы прогнозирования надежности могут быть применены для оценки обоснованной апостериорной надежности машин и оборудования сельскохозяйственного производства, транспортных средств, оборудования лесного комплекса и др. машин.

Список використаних джерел

1. Надежность машин в задачах и примерах. Учебное пособие. /Анилович В.Я., Гринченко А.С., Литвиненко В.Л. Под редакцией В.Я.Аниловича. Харьков, ОКО, 2001, 318с.
2. Прогнозирование надежности тракторов/В.Я. Анилович, А.С .Гринченко, В.Л. Литвиненко, И.С. Чернявский: Под общ. ред. В.Я. Аниловича. М., Машиностроение,1986, 224с.

Анотація

ОЦІНКА І ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Литвиненко В.Л.; Сабліна М.О.

Розглянуто основні методи прогнозування надійності транспортних засобів на основі апріорної інформації за результатами проведеного діагностування їх технічного стану.

Abstract

ASSESSMENT AND FORECASTING OF RELIABILITY VEHICLES

V. Litvinenko, M. Sablina

The basic methods of forecasting the reliability of the vehicles on the basis of a priori information on the results of diagnostics of their technical condition