

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
КОМИТЕТ  
СССР  
ПО СТАНДАРТАМ

---

**НАДЕЖНОСТЬ  
И  
КОНТРОЛЬ  
КАЧЕСТВА**

---

**5**

Основано в 1969 году



Москва  
ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ  
1983

УДК 621-192:519.26

Принцип одинаковых последствий и его применение при анализе надежности машин. Ефремов Л.В. - Надежность и контроль качества, 1963, № 5.

Предлагается общий принцип логического анализа отказов и других случайных событий, характеризующих достижение предельного состояния деталей машин, который позволяет обосновывать методы расчета показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности машин в зависимости от цели исследования надежности. Даны примеры использования принципа.

Библ. 2.

ПРИНЦИП ОДИНАКОВЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ  
И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ АНАЛИЗЕ НАДЕЖНОСТИ МАШИН

Л.В. Ефремов

Формальное применение законов теории вероятности и математической статистики при расчетах показателей надежности машин может привести к ошибочным результатам, если при этом не будет учитываться физическая сущность отказов и других случайных событий, характеризующих ухудшение технического состояния деталей и условия эксплуатации машин. В этой связи актуальное значение имеет разработка общих правил логического анализа отказов, процессов старения и накопления повреждений с целью обоснования условий применимости законов теории вероятностей и математической статистики при оценке надежности машин.

В данной статье предлагается общий принцип анализа отказов, названный принципом одинаковых последствий, который облегчает решение указанной задачи.

Принцип заключается в следующем. В состав общей классификационной группы, выборочной совокупности или суперпозиционного распределения вероятностей допустимо включать только те отказы (или случайные события, характеризующие достижение предельного состояния), которые приводят к одинаковым последствиям» Если имеется несколько распределений вероятностей случайных событий, которые приводят к разным последствиям, то они должны рассматриваться независимо друг от друга. Признаки (критерии) последствий отказов должны указываться в условиях задачи.

Частным случаем реализации предлагаемого принципа является известное правило последовательного соединения элементов структурной схемы по надежности, когда единственным признаком последствий отказа элемента служит отказ всей системы [1]. При этом вероятность безотказной работы системы (машины) можно определить по суперпозиционному распределению, образованному

с помощью теоремы умножения вероятностей,  $P_c = \prod_{i=1}^k P_i$ , где  $P_i$  - вероятность безотказной работы  $i$ -го элемента структурной схемы;  $k$  - число последовательно соединенных элементов в схеме.

Это правило широко используется при исследовании безотказности машин на этапе проектирования. Однако оно не позволяет решать другие задачи надежности машин и прежде всего - рассчитывать их показатели долговечности и ремонтпригодности.

Покажем на некоторых примерах, как эти задачи могут быть решены с помощью принципа одинаковых последствий»

Пример 1. Рассматривается машина, техническое обслуживание (ТО) и ремонт которой выполняются только при возникновении отказов в процессе эксплуатации. Необходимо принять способ образования выборочных совокупностей наработок до отказов для расчета средних ресурсов машин до ремонтов различных видов.

В данном случае признаком последствий отказов является объем ремонта (ТО), который в основном зависит от перечня работ по разборке машины для обеспечения доступа к отказавшему узлу. В этой связи целесообразно все детали и узлы машины классифицировать по группам, число которых равно числу видов ТО и ремонтов. В каждую группу следует включить детали и узлы, для доступа к которым требуется одинаковый объем работ.

Тогда для расчета среднего ресурса до ремонта или ТО  $i$ -го вида необходимо образовать выборочную совокупность наработок до отказов деталей и узлов, которые входят в  $i$ -ю группу.

Пример 2. Рассматривается машина, ремонты которой выполняются по системе планово-предупредительных ремонтов (ППР). Необходимо установить, допустимо или нет объединять в общую выборочную совокупность фактические отказы (т.е. отказы, которые приводят к неплановым простоям машины [1]) в случаи обнаружения повреждений и предельных износов деталей во время плановых ремонтов с целью расчета параметра потока отказов. Для этого оценим признаки последствий этих случайных событий.

Фактические отказы вызывают неплановые простоя машины и дополнительные затраты на ремонт. Обнаружение повреждений и предельных износов во время ремонтов не вызывает таких убытков; а лишь свидетельствует о необходимости профилактического восстановления деталей с целью предотвращения отказов в послеремонтный период эксплуатации.

Следовательно, рассматриваемые виды случайных событий при водят к различным последствиям и объединять их в общую выборку недопустимо. Параметр потока отказов машины должен определяться только по данным о фактических отказах.

Отметим, что данные о случаях обнаружения повреждений и предельных износов (названных в работе [1] потенциальными отказами) необходимы для расчета показателей долговечности и ремонтпригодности машин.

Прежде чем перейти к следующим примерам, отметим, что в фактические и потенциальные отказы предлагается различать по двум уровням предельного состояния детали для одного и того же процесса старения. Потенциальный отказ характеризуется достижением назначенного предельного состояния, при котором вероятность фактического отказа близка к нулю. Поэтому, если при изучении фактических отказов принято использовать распределения вероятности безотказной работы, то потенциальные отказы рекомендуется исследовать с помощью распределения вероятности недостижения предельного состояния.

Пример 3. Рассматривается машина, ремонт которой выполняется по системе ППР. Необходимо определить вероятность замены детали при ремонте после наработки  $t_R$ , если известны распределения вероятности недостижения предельного состояния  $\gamma(t_R)_i$  для нескольких процессов старения, например изнашивания, усталостного разрушения и коррозионного разрушения.

Здесь критерий последствий достижения предельного состояния - замена детали, к которой может привести любой из указанных процессов старения\*. Вероятность замены детали после наработки  $t_R$  следует определять с помощью суперпозиционного распределения, функция которого  $\gamma(t_R) = \prod_{i=1}^k \gamma(t_R)_i$ .

Пример 4. Рассматривается машина, ремонт которой выполняется по системе ППР. Необходимо установить назначенный ресурс машины до ремонта  $j$ -го вида  $t_{Rj}$ , если известны распределения вероятностей недостижения предельного состояния для нескольких процессов старения деталей и узлов.

В этой задаче основными признаками последствий обнаружения повреждений и предельно допустимых износов являются виды работ по дефектации и восстановлению деталей в узлах во время планового ремонта. Очевидно, что каждый вид повреждений приводит к различным видам работ т.е. к различным последствиям. Поэтому для определения ресурса машины до планового ремонта недопустимо использовать приведенное выше суперпозиционное распределение (как это иногда рекомендуется), каждое распределение  $\gamma(t_R)_i$  должно рассматриваться отдельно»

Задачу можно решить путем сравнения вероятности недостижения предельного состояния за время  $t_{Rj}$  для каждого  $i$ -го процесса старения с допустимой вероятностью  $\gamma_i$ . При этом допустимая величина  $\gamma_i$  принимает различные значения в зависимости от степени опасности потенциального отказа  $i$ -го вида [2] Таким образом можно установить перечень вероятных повреждений и соответствующих работ при ремонте  $j$ -го вида, т.е. получить исходные данные для расчета трудоемкости ремонта машины.

Назначенный ресурс  $t_{Rj}$  устанавливается с учетом стратегии ремонта машины. Если ее эксплуатационно-ремонтный цикл (ЭРЦ) не зависит от ЭРЦ объекта в состав которого входит машина, то величина  $t_{Rj}$  может приниматься равной минимальному  $\gamma$ -процентному ресурсу  $t_{\gamma \min}$ , выбранному среди значений

$\gamma$  -процентных ресурсов для каждого процесса старения. Если же ЭРЦ машины должен совмещаться с ЭРЦ объекта, то за назначенный ресурс может быть принята наработка машины до одного из ремонтов объекта, близкая к  $t_{\gamma min}$ .

Приведенные примеры показывают, что принцип одинаковых последствий можно использовать для решения многих задач по надежности машин в различных отраслях промышленности»

Как следует из рассмотренных примеров, для использования предлагаемого принципа необходимо сначала в условиях задачи четко сформулировать признаки последствий исследуемых случайных событий, а затем наметить способ статистической обработки информации или расчета распределения вероятностей\*

#### Список использованной литературы

1. Проников А.С. Надежность машин - М.: Машиностроение, 1978
2. Ефремов Л.В. Практика инженерного анализа надежности судовой техники, Л.: Судостроение» 1980.

Статья поступила 04.02.82