УДК 681.3

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ НЕСТАБИЛЬНОСТИ НА ХАРАКТЕР ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ТОЧНОСТЬ ПРОЦЕДУР ДИАГНОСТИКИ АВТОМОБИЛЕЙ

Краснов Ю.А.

Введение

При проведении различных научных исследований, анализе статистики для принятия правильных управленческих решений редко реализуются идеальные условия для сбора данных. Неправильный учет условий, при которых проводится сбор информации, может снизить точность результата или привести к некорректным выводам.

Постановка задачи определения надежности деталей

Пусть наблюдается достаточное количество агрегатов, узлов (блоков), состоящих из отдельных деталей. Стоит задача - определить надежность деталей, составляющих блок, выявить "узкие места". Обычно принимают среднюю наработку на отказ детали как основную характеристику ее надежности. Ранжирование деталей по надежности проводится через соотношение их наработок до отказа.

Решение этой задачи существенно зависит от того, как проводится сбор данных, и какая принята система поддержания работоспособности блока. В том случае, когда в ходе ремонта блока производится замена только одной детали, отказ которой привел к необходимости проводить ремонт (стратегия 1), может быть принята модель формирования потока отказа для каждого элемента независимо от остальных. Замена одной (отказавшей) детали на новую деталь может влиять, причем двояко, на момент достижения предельного состояния и выхода из строя некоторых других деталей. С одной стороны, уменьшение остатка ресурса за счет приработки, с другой стороны, приведение в нормативное состояние всех допусков, затяжек и т.д. приводит к снижению нагрузки и темпа изнашивания. Однако в рамках данной статьи это влияние не принимается во внимание для рассмотрения другого источника возможных ошибок.

В том случае, когда при устранении неисправности проводится замена не только той детали, которая непосредственно вызвала отказ блока (стратегия 1), может привести к ошибкам. В предельном случае выполняется замена всего блока (стратегия 2). Эта стратегия рассматривается в статье.

Соотношение надежности для двух деталей как отношение их средних наработок на отказ, полученных в ходе сбора данных о проведенных в целом по блоку ремонтах и о причинах отказа, может быть не верным. Действительно, как при такой форме проведения ремонтов может оказаться, что поток отказов блока по причине выхода из строя детали, имеющей б6льшую среднюю наработку на отказ, может быть больше, чем у детали, имеющей меньшую среднюю наработку на отказ, в зависимости от характеристик их законов распределения вероятности (ЗРВ) наработки на отказ.

Примем, как сказано выше, случай, когда блок состоит из двух элементов:

а) - базовая деталь;

б) - "дополнительная" деталь, в зависимости от изменения характеристик закона распределения вероятностей наработки до отказа которой и проводились расчеты.

За базовую деталь при реальном анализе может быть принят весь блок за вычетом детали (а).

При отказе любой из деталей проводится замена всего блока.

Расчеты, результаты которых приведены ниже, проводились при условии нормального ЗРВ для обоих деталей. Для детали (а) приняты неизменные, нормировочные значения: математическое ожидание $M_a=1$; среднеквадратическое отклонение $\sigma_a=0.3$.

Для детали (б) значения $M_б$ и $\sigma_б$ варьировались в небольших пределах от 0,6 до 1,8 по отношению к соответственно M_a и σ_a.

Для принятой дисциплины восстановления работоспособности блока вероятность того, что отказ блока произойдет из-за отказа детали "j" равна:

$$P_j = \int_{\Omega} f_j(x, M_j, \sigma_j) * R_0(x, M_0, \sigma_0) dx,$$

где:

f_j - плотность распределения дЛЯ ЗРВ по 'j'-й детали,

R_o - функция безотказности для остальной части блока,

M_z, σ_z - математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение для детали 'z' .

Ω - область определения функций f_j и R_o .

Соответственно реализуемая наработка на отказ для детали "j" , рассчитываемая как среднее по тем случаям, когда отказ блока происходит из-за отказа детали "j", равна:

$$L_j = \int_{\Omega} \frac{f_j(x, M_j, \sigma_j) * x * R_0(x, M_0, \sigma_0) dx}{P_j}$$

Результаты проведенных расчетов даны на рис.1 и рис.2. Здесь показано поведение описательных характеристик потоков отказов для деталей (а) и (б) в зависимости от изменения $M_б$ и $\sigma_б$. Видно, что в случае стратегии 2 при изменении параметров, характеризующих ЗРВ для детали (б), меняются как $P_б$, $L_б$, так и P_a и L_a . (рис. 1).

Следует отметить, что пересечение поверхностей (α) и (β), т.е. линия, при которой равны реализуемые средние наработки на отказ, соответственно, деталей (а) и (б), проходит отнюдь не по прямой $M_б/M_a=1$. Это приводит к случаям, когда деталь с меньшей (по отношению к другой детали) средней наработкой на отказ при восстановлении блока по стратегии 2 будет иметь реализуемую среднюю наработку большую, чем у сравниваемой детали.

Это возможно в том случае, если их характеристики рассчитывать как среднеарифметическое по всем случаям отказа блока по причине неисправности той или иной детали.

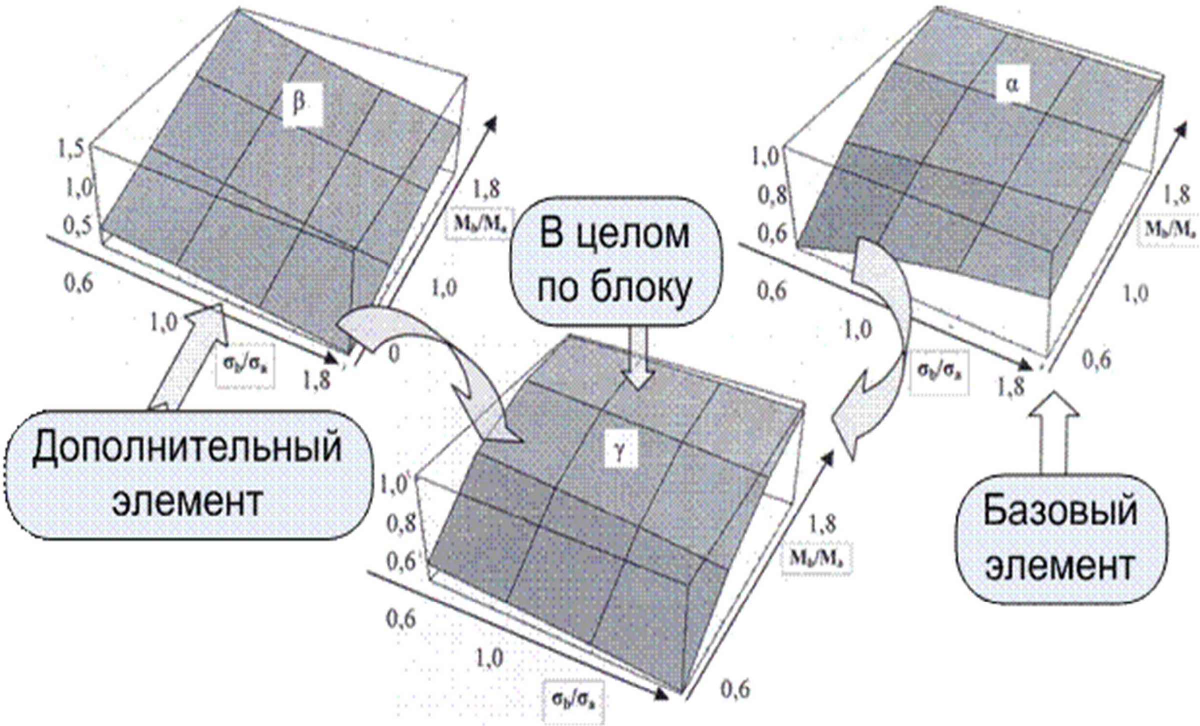


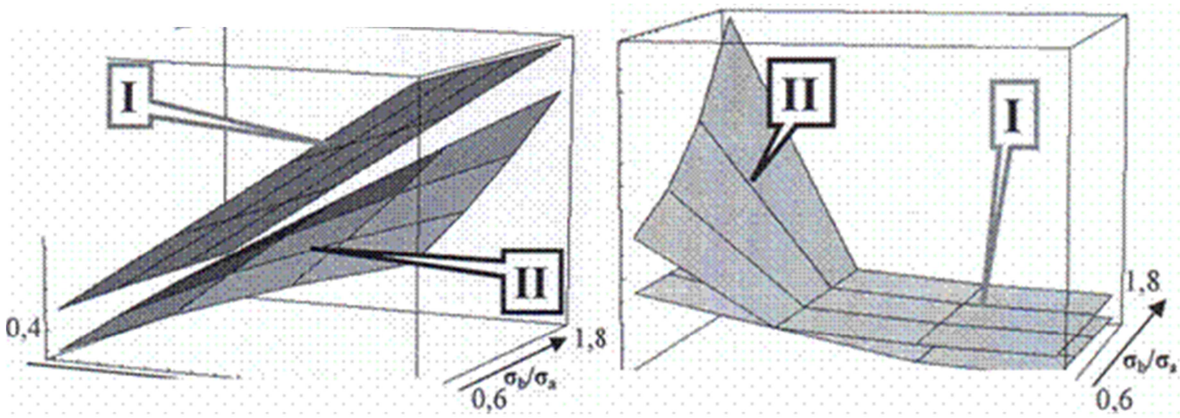
Рисунок 1 - Математическое ожидание наработки на отказ элементов и блока в целом при восстановлении работоспособности по стратегии 2

Разница между потоками отказов блока, вызванных (а) и (б), формирующимися при стратегиях 1 и 2, еще существеннее (рис.2.), чем между реализующимися средними наработками на отказ по причинам (а) и (б).

Приведенный подход к решению задачи демонстрирует причины возникновения ошибок и позволяет просчитать их масштаб. Однако использование подобной модели позволяет также решать и обратную задачу нахождение параметров надежности для каждой из 'п' деталей, составляющих блок, имея для них реализованные наработки до отказа L_j по подобной специфической выборке и вероятности P_j отказа блока из-за детали “j”.

Пусть есть два процесса отказа:

1. Искомая причина отказа, с плотностью наработки f1 и функцией безотказной работы R1 = 1-∫f1(x)dx.
2. Остальные причины отказа, соответственно f2 и R2.



Реализуемая средняя наработка на отказ по элементу (б)	Отношение величины потока отказа блока по элементу (б) к потоку отказа блока по элементу (а)

I - при независимой замене отказавших элементов

II - при замене всего блока из-за отказа любого элемента

Рисунок 2 - Соотношение функций, характеризующих реализуемые потоки отказов по элементам (а) и (б):

Суммарный процесс, т.е. когда отказывают (независимо) и то и другое (после отказа любого элемента происходит ремонт (замена) всего блока), имеет вероятность безотказной работы: R_Σ=R1*R2.

Плотность вероятности отказа для отказов по l-й причине при работе всех отказов будет: $f_{1\Sigma} = f_1 * R_2 \Big/ \int_M f_j * R_2 dx = \frac{f_1 * R_2}{S}$, где M - множество, на котором определены функции f1 и f2.

По сути, $\int_M f_j * R_2 dx$ f(dx) - это доля отказов l-го типа в суммарном потоке, и это значение S получено в эксперименте. Тогда получаем систему из двух уравнений для решения в аналитическом виде или с помощью численных методов:

R1(x)*R2(x)=R_Σ(x), -R1'(x)*R2(x)=$f1_\Sigma$(x)*S

откуда ***d***(***Ln***(R1(x)))/***dx***=-$f1_\Sigma$(x)*S/R_Σ(x)->R1(x)=C*$e^{-f1\Sigma(x)*S/R\Sigma(x)dx}$, где C=1, т.к. R1(0)=1, (интегрирование для нашего случая идет от O до x), где при достаточной статистике известны и $f1_\Sigma$(x), и S, и R_Σ(x).

Определение наработки на отказ

Рассмотрим, каким образом происходит формирование закона распределения вероятностей пробега от момента начала эксплуатации детали (установка на автомобиль взамен отказавшей, поступление нового автомобиля) до момента "сечения временного потока", - дня, когда проводится сбор данных в автотранспортном предприятии (АТП), а также подходы к определению параметров закона распределения.

Разберем случай восстановления, - замена отказавших деталей новыми деталями. Примем допущение о том, что количество единиц подвижного состава в рассматриваемом АТП было постоянным в течение рассматриваемого периода времени при постоянной возрастной структуре. В первом приближении не будем учитывать сезонную составляющую.

Для АТП со стабильной возрастной структурой можем принять, что параметр потока отказов по элементу постоянен во времени, - т.е. среднее количество отказавших, и, следовательно, замененных, поставленных на автомобиль элементов в единицу времени постоянно, не зависит от времени.

Обозначим пробег до отказа элемента через t_f, а пробег элемента от момента установки на автомобиль до момента "сечения" - t_p; плотность закона распределения вероятностей для t_f через $f(t)$, а для t_p , - через $p(t)$.

Возьмем два отрезка длиной Δt, - на расстоянии t_l от момента съёма данных в прошлое и на расстоянии t_2• Тогда до момента "0" от точки t_1 дойдет $w(t_1)*\Delta t*R(t_l)$ работоспособных элементов, где $R(t)$ - функция безотказности, равная $R(t)=1-\int_0^\infty f(t)dt$.

Соответственно от момента t_2 до момента "0" дойдет $w(t_2)*\Delta t*R(t_2)$

работоспособных элементов. Учтя принятое допущение о постоянстве $w(t)=w_0$, получим, что функция $f(t)$ преобразуется в $p(t)$ по следующему закону $f(t) \to p(t)$:

$$p(t)=\frac{\varpi_0 R(t)}{\int_0^\infty \varpi_0 R(t)dt}.$$

Здесь интеграл в знаменателе нужен для нормировки, Т.е. придания $p(t)$ одного из основных свойств плотности распределения вероятности - равенства интеграла, взятого по всей области определения.

Таким образом, закон распределения вероятностей для неотказавших элементов представляет собой (по форме) функцию безотказности (обратный интегральный закон) для пробега до отказа. Будучи монотонно убывающим по определению, может быть ошибочно принят за экспоненциальный закон, либо закон Вейбулла-Гнеденко с большим коэффициентом вариации.

Расчеты показывают, что математическое ожидание новой функции $p(t)$ равно

$$M_{ожид}(p)=\frac{\varpi_0 0.5\left(M^2_{Ожид}(f)+D(f)\right)}{\varpi_0 M_{Ожид}(f)}=M_{Ожид}(f)\frac{1+v^2}{2},$$

где: $M_{ожид}(f)$ - математическое ожидание функции $f(t)$; $D(f)$ - дисперсия функции $f(t)$; v - коэффициент вариации функции $f(t)$.

Таким образом, в случае экспоненциального распределения исходной случайной величины (пробег до отказа) математические ожидания будут равны, и проведение какой бы то ни было коррекции, в сторону увеличения будет неверным. В то же время, для случайных величин с малым коэффициентом вариаций (например, нормальный закон с v=0.1) величина $M_{ожид}(p)$ будет отличаться от (искомой) величины $M_{ожид}(f)$ почти в 2 раза.

Учитывая, что $\int_0^{\infty} R(t)dt = M_{ожид}(f)$, формула (2) может быть представлена в виде $p(t) = \dfrac{R(t)}{M_{ожид}(f)}$.

Заключение

Таким образом, приведя собранные данные по пробегам неотказавших элементов к форме плотности распределения вероятностей (проведя нормировку) и учитывая, что R(0)=1 по определению, можем сразу определить искомую среднюю наработку на отказ исследуемого элемента автомобиля.

Список информационных источников

[1] Власов Д.А. Разработка методов оптимизации распределения транспортных потоков управляемой сети / Солнцев А.А., Власов Д.А., Чичерин А.В., Кузнецов С.А. // Управление транспортными потоками - 2009 – С.24-32

[2] Ульман И.Е. Техническое обслуживание и ремонт машин. – М.: Агропромиздат, 1990. – С.365-366.

[3] Краснов Ю.А. Мониторинг производственных процессов с использованием распределенной информационной системы / Горячкин Б.С., Краснов Ю.А., Сатышев С.Н., Строганов Д.В., Хадеев А.С. // Автоматизация и управление: стратегия, инвестиции, инновации. сб. науч. тр. МАДИ. – М.: Техполиграфцентр, 2011. – С. 75-83.