

СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЦВМ

Р. Д. Жиров
(Калинин)

Система профилактического обслуживания (СПО) есть комплекс мероприятий, направленных на повышение уровня эксплуатационной надежности в обслуживаемой системе. Для выявления в обслуживаемой системе элементов, представляющих в силу большой степени износа потенциальную угрозу отказа, контроль функционирования проводится в режиме граничных испытаний. Под режимом граничных испытаний здесь понимается целенаправленное воздействие дозированной помехой на всю обслуживаемую систему или на ряд её элементов, приводящее к временной частичной или полной утрате работоспособности элементами, износ которых превысил допустимое значение. Таким образом режим граничных испытаний обеспечивает провокацию отказов и упреждающее снятие с эксплуатации элементов с повышенной вероятностью отказа. Степень провокации отказа, которая достигается в конкретной радиотехнической системе в режиме профилактического обслуживания, определяет меру направленного воздействия на поток случайных событий, каким является поток отказов.

Достижимая в СПО степень провокации характеризуется коэффициентом прогноза — $K_{пр}$. Коэффициент прогноза может быть определен как отношение среднего значения запаса работоспособности элементов, нормально функционирующих в номинальном режиме эксплуатации, но переходящих в состояние отказа в режиме

граничных испытаний, к среднему значению запаса работоспособности у вновь изготовленных (восстановленных) элементов.

С точки зрения системы профилактического обслуживания ЦВМ представляют собой не совсем обычные радиоэлектронные системы. Надежность ЦВМ при реализации различных программ оказывается различной, что требует обеспечения в СПО достаточной режимной глубины контроля [1]. Требуется строить СПО, способные к прогнозированию как отказов, так и сбоев [2]. Применение ЦВМ в самых различных системах обработки информации и управления, заставляет оптимизировать СПО по некоторым параметрам эксплуатационной надежности или по совокупности этих параметров. Параметрами, по которым ведется оптимизация СПО могут быть [3]

- вероятность безотказной работы в течение интервала времени t_0 , начиная с момента окончания (K-I)-го обслуживания,
- среднее время наработки на отказ (сбой),
- коэффициент готовности,
- нестационарный коэффициент надежности устройства в интервале от t до $t + t_0$ и др.

Будем называть СПО рациональной, если она обеспечивает получение максимальных значений по одному из перечисленных или по некоторому обобщенному параметру при минимальных затратах на эксплуатацию. Задача построения такой СПО требует определения необходимых значений в первую очередь для

- длительности профилактического обслуживания - τ ,
- интервала времени между обслуживаниями - Δt ,
- коэффициента прогноза - $K_{пр}$.

Кроме того, если обслуживаемая система допускает возможность применения различных уровней прогноза при различных по глубине обслуживаниях (послеремонтная проверка, профилактика малой периодичности, профилактика большой периодичности), то возникает вопрос об определении наилучших значений $K_{пр}$ для каждого вида обслуживания и о необходимом порядке чередования различных видов обслуживания в процессе эксплуатации.

Комплексное решение задачи построения рациональной СПО на основе аналитического моделирования процесса обслуживания и процессов, протекающих в обслуживаемой системе, практически невозможно в силу сложности описываемого явления. Аналитическое моделирование оказывается удобным для определения

одного отдельно взятого параметра эксплуатационной надежности [3, 4, 5].

При решении задач синтеза СПО целесообразно использовать методы статистического моделирования, так как они позволяют исследовать динамику процесса обслуживания, не накладывая ограничений на вид ведущей функции $\Lambda(t)$, характеризующей нестационарность потока отказов [4].

Ниже описывается статистическая модель СПО.

Особенностью модели является то, что в ней, кроме собственно процессов обслуживания, моделируется во времени процесс старения каждого элемента обслуживаемой системы. Процесс старения описывается функцией $S(t)$ изменения во времени запаса работоспособности каждого отдельно взятого типового элемента. При этом вид функции $S(t)$ является общим для элементов данного типа, но коэффициенты при переменной формируются некоторым случайным образом для каждого элемента системы. Функция $S(t)$ может быть представлена в модели одним из выражений:

$$a \left(\frac{t}{T} \right)^2 + b \left(\frac{t}{T} \right) + S_0 = S(t), \quad (1)$$

$$a \left(\frac{t}{T} \right) + S_0 = S(t), \quad (2)$$

$$S_0 \left[1 - \frac{t}{T} \exp \left(- \frac{T-t}{T} k \right) \right] = S(t). \quad (3)$$

Состояние отказа i -го элемента в номинальном режиме отождествляется с выполнением условия

$$S_i(t) = S_{отк} \quad (4)$$

где $S_{отк}$ - некоторая наперед заданная величина. Отказ i -го элемента в режиме проведения граничных испытаний отождествляется с выполнением условия

$$S_i(t) = S_{гр} \quad (5)$$

$S_{гр}$ - является также заданной величиной для каждого типа элемента.

Как указывалось выше, режим граничных испытаний переводит элементы с высокой степенью износа в состояние временной утраты работоспособности. Имея в виду, что $S(t)$ неотрицательная монотонно убывающая функция [6, 7] полагаем, что $S_{гр}$

всегда больше $S_{отк}$. Очевидно, среднее время, которое потребно для того, чтобы функция $S(t)$ изменилась от $S_{гр}$ до $S_{отк}$ (при номинальном режиме эксплуатации) составит достигнутое в конкретной СПО среднее время упреждения отказа. Упреждение отказов является основным смыслом профилактического обслуживания. Поэтому, оценивая качество СПО, можно было бы ограничиться лишь моделированием потока постепенных отказов. Поток внезапных отказов здесь составляет фон, на котором протекает исследуемый процесс. Однако, для получения оценки параметров эксплуатационной надежности обслуживаемой системы (ЦВМ) указанный фон необходимо сохранить. Для этого в модели применяется так называемый коэффициент обнаружения. Коэффициент обнаружения - $K_{обн}$ может быть определен как отношение количества элементов в системе, отказы которых носят постепенный характер и могут быть обнаружены в соответствии с режимной глубиной и логической полнотой охвата контролем конкретной СПО, к общему количеству элементов в системе.

Группа элементов одного типа описывается в модели следующими характеристиками:

- $N_{гр}$ - количество элементов данного типа в обслуживаемой системе,
- T_0 - среднее время жизни элемента при номинальном режиме эксплуатации,
- $S_{гр}$ - значение функции $S(t)$ при котором элемент отказывает в режиме граничных испытаний;
- $S_{отк}$ - то же для номинального режима,
- S_0 - математическое ожидание значения $S(t)$ в момент начала эксплуатации элемента,
- σ_{S_0} - среднеквадратическое отклонение величины S_0 ,
- $K_{обн}$ - коэффициент обнаружения, учитывающий характер неисправностей элементов данного типа и вероятность обнаружения постепенных отказов системой контроля.
- σ_{T_0} - среднеквадратическое отклонение T_0 при нормальном законе распределения среднего срока жизни,
- $T_{вр}$ - среднее время восстановления в рабочем режиме,
- $T_{вл}$ - среднее время восстановления в режиме профобслуживания.

Имеют место также и другие признаки, носящие вспомогательный характер или характеризующие более тонкую структуру описываемого процесса.

Как правило, при описании обслуживаемой системы не возникает необходимости отдельного описания каждого типа элемента, так как с точки зрения надежностных характеристик удается все типы элементов свести в несколько обобщенных групп. При этом в одну группу сводятся элементы, имеющие один вид функции $S(t)$ и достаточно близкие значения перечисленных параметров.

Для описания СПО задается порядок чередования различных видов обслуживания, а также длительность интервалов между обслуживаниями $-\Delta t$ или количество отказов, после которого назначается профилактика, а также:

τ_M - длительность профилактического обслуживания малой периодичности,

τ_B - длительность профилактического обслуживания большой периодичности.

$\Delta t_{\text{прп}}$ - минимальное время контроля при послеремонтной проверке.

Для организации обработки результатов моделирования задается значение параметра Δ , определяющее допустимую нестационарность процесса, при которой допускается набор статистики: интервалы времени между выводами промежуточных результатов $t_{\text{печати}}$ и общее время $t_{\text{реализации}}$.

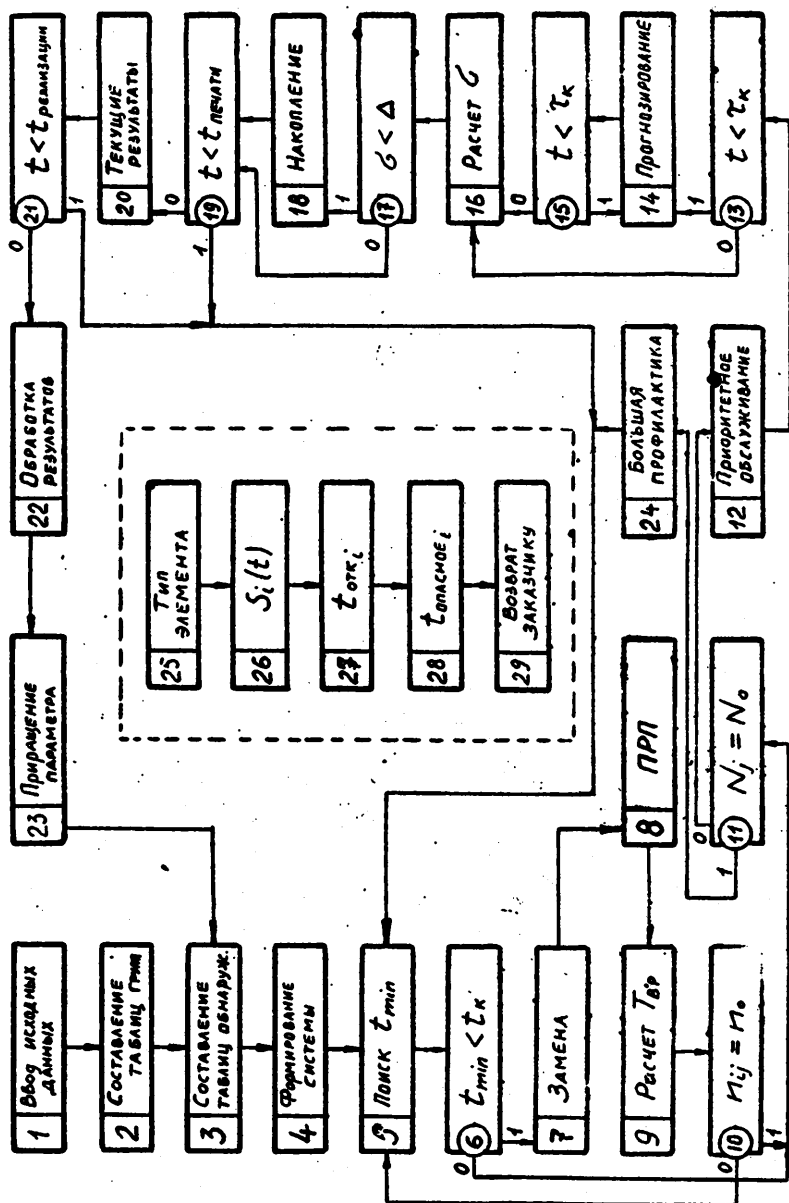
Упрощенная блок-схема модели системы профилактического обслуживания приводится на рисунке.

Рассмотрим назначение блоков модели.

Б л о к 1, б л о к 2 обеспечивают ввод исходных данных, перевод числового материала и составление на основе исходных данных таблиц характеристик типовых элементов.

Б л о к 3 формирует на основании заданных для каждого типа элементов коэффициентов обнаружения общую таблицу обнаружения. Таблица обнаружения не изменяется на протяжении одной реализации. В начале следующей реализации она формируется заново с использованием датчика псевдослучайных чисел, равномерно распределенных в интервале $[0, 1]$.

Типовой элемент, номер которого попал в таблицу обнаружения, рассматривается как элемент схемы, в которой отказ не



прогнозируется. Замена такого элемента осуществляется по факту прямого отказа [$S_i(t) = S_{отк}$] в номинальном режиме эксплуатации.

Б л о к 4 осуществляет формирование обслуживаемой системы в начале реализации. Формирование системы осуществляется с помощью программы, моделирующей функцию $S_i(t)$, как некоторую заданную функцию со случайно выбранными параметрами. Моделирование функции $S_i(t)$ выполняется блоками 25, 26, 27, 28. Эта же программа используется блоками 7, 8, 12, 14, 24, если при их работе возникает необходимость "замены" элемента в системе по прогнозу или по факту отказа. Значение времени $t_{отк_i}$, вырабатываемое блоком 27, определяется как некоторый момент времени в масштабе непрерывного времени жизни обслуживаемой системы с началом отсчета в начале данной реализации. В момент $t_{отк}$ выполняется условие $S_i(t) = S_{отк}$. Аналогично этому в блоке 28 определяется значение опасное, при выполнении условия (5), т.е. в момент перехода значений функции $S_i(t)$ в диапазон значений, ограниченный величинами

$S_{гр} - S_{отк}$. Для i -го элемента момент $t_{опасное}$ означает, что этот элемент перешел в категорию элементов с повышенной опасностью отказа и должен быть заменен в процессе профилактического обслуживания.

Б л о к и 5, 6, 7, 8, 9, 10 моделируют рабочий режим обслуживаемой системы, т.е. работу на интервале времени между двумя обслуживаниями.

Б л о к 5 осуществляет поиск элемента с минимальным запасом работоспособности или, что то же самое, элемента, время до отказа которого минимально (t_{min}).

Б л о к 6 проводит проверку $t_{min} < t_k$, где t_k — время окончания данного рабочего интервала, т.е. время начала профобслуживания.

Б л о к 7 "заменяет" через блоки 25, 26, 27, 28, 29 отказавший элемент на новый, т.е. засылает новые значения в рабочую таблицу, характеризующую состояние обслуживаемой системы.

Б л о к 8 проводит послеремонтную проверку системы, т.е. определяет работоспособность ЦРМ в момент окончания ремонта (замены).

Б л о к 9 осуществляет расчет временных характеристик процесса восстановления. Общее время восстановления определяется, как некоторая случайная величина распределенная по заданному закону. При определении времени восстановления учитывается тип отказавшего элемента, режим в котором осуществляется замена, время проведения замены (ночь или день).

Б л о к 10. проверяет выполнение условия $n_{1j} = n_0$,
где n_{1j} - количество отказов на j -ом рабочем интервале
 n_0 - заданное количество отказов на рабочем интервале, при превышении которого должно выполняться профилактическое обслуживание.

Б л о к 11. проверяет условия $N_j = N_0$,
где N_j - количество профилактик малой периодичности, выполненное после последней профилактики большой периодичности
 N_0 - количество малых профилактик, после которого назначается профилактика большой периодичности.

Б л о к и 12, 13, 14, 15 моделируют профилактическое обслуживание малой периодичности.

В принятой схеме этот вид обслуживания проводится в два этапа:

- 1) Приоритетное обслуживание,
- 2) Прогнозирование

Б л о к 12 моделирует приоритетное обслуживание. Обслуживание этого вида не может быть прекращено в связи с окончанием интервала времени, отведенного на профилактику, т. е. обладает приоритетом. Оно связано с устранением неисправностей, являющихся причинами полных или перемежающихся отказов в ЦВМ.

Б л о к 13 проверяет условие $t < \tau_k$,

где t - текущее время в момент окончания приоритетного обслуживания;
 τ_k - заданный момент времени окончания данного профилактического обслуживания.

Б л о к и 14, 15 моделируют обслуживание с прогнозированием. В процессе этого вида обслуживания замене подвергаются элементы, для которых выполняется условие 5.

Оно продолжается до тех пор, пока $t \leq \tau_k$, что проверяется блоком 15.

Б л о к 16 производит расчет некоторого параметра стационарности потока отказов - γ . Смысл этого расчета в определении времени окончания процесса выхода обслуживаемой системы на установившийся режим. Как правило, нас интересуют результаты моделирования, полученные для стационарного режима.

Б л о к 17 проверяет условие $\gamma < \Delta$, где Δ - заданное значение параметра стационарности, при котором полагают, что ЦВМ вышла на установившийся по потоку отказов режим.

Б л о к 18 осуществляет накопление статистического материала и первичную обработку результатов моделирования.

Б л о к 19 проверяет выполнение условия $t < t_{\text{печати}}$, где $t_{\text{печати}}$ задается в масштабе времени жизни моделируемой системы и определяет интервал выдачи на печать промежуточных результатов.

Б л о к 20 производит печать промежуточных результатов.

Б л о к 21 проверяет выполнение условия

$$t < t_{\text{реализации}}$$

где $t_{\text{реализации}}$ определяет в какой момент времени жизни моделируемой системы должна быть закончена текущая реализация.

Б л о к 22 производит обработку и вывод результатов моделирования.

Б л о к 23 изменяет на заданный шаг значение параметра (параметров), по которым анализируется поведение моделируемой системы.

Б л о к 24 моделирует процесс профилактического обслуживания большой периодичности. Этот вид обслуживания включает в себя как инструментальные автоматические методы контроля функционирования, так и визуальной осциллографический контроль качества сигналов в цепях ЦВМ. Как правило длительность профилактического обслуживания большой периодичности оказывается достаточной для проведения замены почти всех элементов с пониженным запасом работоспособности, поэтому время одиночного восстановления не моделируют. Для того, чтобы учесть вероятность пропуска дефектного элемента, каждая группа однотипных элементов характеризуется некоторым коэффициентом $K_{\text{овп}}$, который можно определить как вероятность обнаружения дефектного элемента в режиме профилактического обслуживания большой периодичности.

Рассмотрим теперь работу модели, полагая, что обслуживаемая система сформирована и начинается моделирование жизни системы. В рабочей таблице, характеризующей состояние элементов, отыскивается элемент, который первым из всей совокупности элементов откажет (блок 5). Момент его отказа сравнивается с моментом окончания рабочего интервала (блок 6). Если $t_{min} < t_k$

то производится замена элемента, последующая послеремонтная проверка, во время которой также может быть выявлен отказ и произведена замена, и формирование общего времени восстановления (блоки 7, 8, 9). При проведении замены блок 7 передает управление блоку 25, одновременно засылая в блок 29 команду возврата. Блок 25 определяет, к какому типу принадлежит отказавший элемент и заносит характеристики этого типа в блоки 26, 27, 28. Блок 26 формирует по заданному закону случайные значения коэффициентов функции $S(t)$ и рассчитывает значения этой функции для вновь устанавливаемого в систему i -го элемента $S_i(t)$. Блок 27 определяет в масштабе времени жизни системы момент выполнения условия (4) и заносит значение времени отказа i -го элемента в рабочие таблицы. Блок 28 определяет момент выполнения условия (5) и заносит в рабочие таблицы значение времени, после которого i -ый элемент переходит в режиме граничных испытаний в состояние отказа. Блок 29 передает управление заказчику. В данном случае заказчиком является блок 7. Блок 7 подсчитывает сумму отказов на j -ом рабочем интервале n_{ij} . Затем проверяется, не достигло ли общее количество отказов на данном рабочем интервале заданного значения. Если $n_{ij} < n_0$, то блок 10 передает управление в блок 5, где производится определение момента возникновения очередного отказа и работа блоков 6, 7, 8, 9 повторяется.

Если $n_{ij} = n_0$, то моделирование j -го рабочего интервала заканчивается и с блока II начинается моделирование профилактического обслуживания. Рабочий интервал может закончиться и при выполнении условия $t_{min} \geq t_k$ в блоке 6, который в этом случае также передает управление блоку II. Таким образом возможно моделирование как детерминированного обслуживания, начинающегося в наперед заданные моменты времени t_k , так и обслуживания по заданному количеству отка-

зов ($i = 1, 2, \dots, n$) на рабочем интервале.

Кроме того возможно совмещение этих условий.

В модели принято, что профилактическое обслуживание большой периодичности проводится после заданного количества малых профилактик.

Б л о к 11, если количество малых профилактик (МП) не достигло заданного значения ($N_i < N_0$), передает управление блоку 12. В противном случае моделируется большая профилактика - БП (блок 24). Блок 12, последовательно проверяя все элементы системы, проводит через 25, 26, 27, 28, 29 замену тех из них, для которых выполняется условие

$$S_i(t) \leq S_{отк} + \Delta S_{отк}.$$

Здесь $\Delta S_{отк}$ некоторая положительная Δ -окрестность величины $S_{отк}$, с помощью которой в модели учитываются внутренние возмущения в ЦВМ, возникающие при решении задач и приводящие к появлению предостказных (частых) сбоев в решении. численно это соответствует появлению сигналов ошибок при проведении контроля функционирования ЦВМ в номинальном режиме. Так как наличие таких ошибок свидетельствует о том, что ЦВМ не может нормально функционировать, этот вид обслуживания временем не ограничивается. В блоке 12 подсчитывается общее время, потребовавшееся для выполнения приоритетного обслуживания, и определяется значение текущего времени окончания этого обслуживания - t . Блок 13, если текущее значение времени не превысило заданного значения времени окончания профилактики ($t < \tau_k$), передает управление блоку 14. В противном случае обслуживание считается завершенным и управление передается блоку 16. Блок 14 последовательно проводит замену элементов, для которых выполняется условие (5). При этом время восстановления по каждой замене добавляется к текущему времени и блок 15 проверяет выполнение условия $t < \tau_k$. В случае, если на k -ом восстановлении в блоке 14 получается $t > \tau_k$, то замена элемента не производится, обслуживание считается завершенным и счетчику текущего времени присваивается значение τ_k . После этого управление передается блоку 16. Блок 14 имеет также прямой выход на блок 16 (на блок-схеме не показан) по факту завершения проверки всех элементов системы.

Блоки 16,17,18,19,20,21,22,23 не связаны непосредственно с логикой моделирующего процесса. Назначение каждого из них описано выше, а последовательность работы достаточно ясна из рассмотрения блок-схемы. Заметим только, что в качестве критерия стационарности потока достаточно удобно пользоваться значением интенсивности потока отказов на рабочих интервалах - λ_p или значением коэффициента профилактики

$$K_{пф} = \frac{n_{пф}}{N},$$

где

- $n_{пф}$ - количество замен в режиме профилактического обслуживания,
- N - общее количество замен за рассматриваемый отрезок времени

До тех пор пока значение текущего времени жизни системы не превысит заданное значение t -реализации, вслед за моделированием МП всегда моделируется рабочий интервал (блоки 19, 21 передают управление блоку 5).

Работа блока 24, моделирующего режим большой профилактики (БП), состоит в проверке выполнения условия (5) для каждого элемента системы. Если условие (5) выполняется, то формируется случайное число ξ_i с равновероятным распределением в интервале $[0,1]$ и производится сравнение этого числа с заданным значением $K_{обл}$. Если $\xi_i \leq K_{обл}$, то элемент подвергается замене, если $\xi_i > K_{обл}$, то производится проверка выполнения условия (5) для следующего элемента системы. Значение

$K_{обл}$ в значительной мере зависит от квалификации обслуживающего персонала, доступности схем ЭЦВМ осциллографическому контролю и может колебаться в пределах 0,7-0,95 для ЦВМ средней производительности (М-20). Блок 24 всегда передает управление блоку 5.

Описываемая модель выполнена на М-20.

Объем программы около 20000(8) команд. Объем рабочих таблиц около 4500(8) ячеек.

моделироваться могут ЦВМ содержащие до 2000 типовых элементов десяти различных (по характеристикам надежности) типов..

Масштаб моделирования для ЦВМ, состоящей из 15^{36} типовых элементов с начальной интенсивностью суммарного потока отказов 2 отказа/час - $1:30000$, т.е. 30000 часов эксплуатации моделируются в течение часа работы модели. Время моделирования может быть несколько сокращено при применении физических датчиков случайных величин.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Г.А. Миронов. Испытательные программы для контроля электронных цифровых машин. М. "Наука", 1964 г.
2. Теория надежности в области радиоэлектроники. Терминология. М., АН СССР, Комитет технической терминологии Института радиотехники и электроники, выпуск 60, 1962 г.
3. Б.А. Козлов, И.А. Ушаков. Справочник по расчету надежности, М., "Сов. радио", 1966 г.
4. Ю.К. Беляев. Влияние характеристик систем обнаружения и устранения неисправностей на надежность аппаратуры. Вопросы радиоэлектроники, серия XII, выпуск 13, 1962 г.
5. Н.А. Шишонов, В.Ф. Репкин, Л.Л. Барвинский. Основы теории надежности, М, "Сов. радио", 1964 г.
6. Н.М. Седякин, Об одном физическом принципе теории надежности. Техническая кибернетика, № 8, 1966 г.
7. И.Б. Герцбах, Х.Б. Кордонский. Модели отказов. М, "Сов. радио", 1966 г.