

9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СРЕДСТВ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ВЫБОРА СОВОКУПНОСТИ ДП И ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

Выбор совокупности ДП для реализации одной или нескольких операций диагностирования представляет собой многоальтернативную задачу.

Рассмотренные в предыдущей главе модели позволяют представить РЭУиС в виде, наиболее удобном для решения данной задачи. Однако выбор модели, как и сама модель - это всего лишь средства, а совокупность ДП - это по существу одна из основных целей диагностического анализа.

Можно считать, что выбор совокупности ДП для решения диагностических задач определяется многими факторами, основными из которых являются: целевая функция объекта диагностирования; стратегия его технического обслуживания; задаваемый набор средств технического диагностирования; время диагностирования; стоимость средств диагностирования и самого процесса диагностирования с учетом простоев РЭС в режиме диагностирования.

Следует подчеркнуть, что выбор ДП может осуществляться на двух стадиях ЖЦ системы:

- на **стадии проектирования**, когда производится первичное осмысливание целей и задач как самой проектируемой РЭС, так и стратегией, методов и средств ее ТОиР;
- на **стадии технической эксплуатации**, когда возникает проблема совершенствования функционального использования, или улучшения показателей ТО, или необходимость повышения надежности в условиях эксплуатации.

Если на стадии проектирования задача выбора ДП и вообще диагностического обеспечения решена оптимально, то на второй стадии с этой точки зрения остается незначительное поле деятельности. Но вопрос как раз и заключается в том, что решить на стадиях проектирования и изготовления задачи диагностического обеспечения оптимально, очевидно, просто невозможно, по причине различия критериев оптимальности. Условия эксплуатации РЭУиС меняются значительно быстрее, чем технические условия на проектирование, и то, что при проектировании и испытаниях представлялось весьма удовлетворительным, через 3 ... 4 года функционального применения может потребовать принципиально иных решений - новых методов и средств, нового подхода. Наконец, необходимо помнить, что оптимальную со всех точек зрения РЭС создать очень трудно и очень дорого. На стадии изготовления и испытаний РЭС главное внимание уделяют всегда ПФИ, эксплуатация пока представляется делом второго плана. Конечно, если система не удовлетворяет требованиям эксплуатации по определяющему параметру - это другое дело, но сейчас идет речь о РЭС, близких к оптимальным.

Все это заставляет обращаться к вопросам диагностического анализа и выбора ДП на стадии эксплуатации и как бы заново решать диагностические задачи.

Чем лучше, тщательнее и глубже задача диагностирования решается на стадиях проектирования - тем полнее вопросы диагностирования будут реализованы при эксплуатации. Таким образом, выбор совокупности ДП является одной из основных задач диагностического обеспечения РЭС на всех стадиях ЖЦ.

Совокупность ДП зависит от тех режимов диагностирования, в которых последнее производится. Поэтому следует говорить о совокупности ДП для определения состояний - функционирования; работоспособности; поиска дефекта (повреждения); локализации места отказа при замене; поиска места отказа при ремонте - а для контроля работоспособности (исправности) после проведения всех восстановительных и монтажных работ.

Главным фактором при выборе совокупности ДП является информативность - полнота проверок, характеризуемая соответствующим коэффициентом $K_{п-п}$. Не менее важным фактором является стоимость ТДК, стоимость диагностирования и средств диагностирования. Поскольку в результате ТДК РЭС (РЭУ) может быть признана неработоспособной, а может и не быть (если не прекратилось функционирование), то большое внимание при формировании совокупности ДП занимает проблема выбора номинальных значений и назначения допусков. Если в качестве ДП выбираются ПФИ, то допуски назначаются из тактических соображений.

Если же схема РЭС такова, что требуется в качестве ДП использовать технические параметры, в этом случае необходимо установление взаимосвязей между ПФИ и ТП, и назначение допусков на ТП производится в зависимости от тактических допусков на ПФИ с учетом взаимовлияния.

Принятие решения о том или ином техническом состоянии осуществляется на основе отображения информации. Даже в автоматизированных системах, после операции управления, например, аварийного переключения, отображение осуществляется в виде, удобном для последующего органолептического восприятия и осмысливания его оператором, а впоследствии и инженером-анализатором. Проведению контроля работоспособности всегда предшествует проверка функционирования РЭС (РЭУ).

Совокупность ДП для определения функционирования выбирается для РЭС, управление которыми осуществляет оператор или информация от которых используется непосредственно человеком. Основу этой совокупности составляют ПФИ непосредственно конечных устройств РЭУиС. К числу таких параметров относят:

- параметры воспроизведения звука в радиоприемнике;
- буквопечатание (на телеграфном аппарате);

- шумовой подсветки развертки индикатора РЛС и др.

Подчеркнем, что органолептический метод проверки изделий РЭС на функционирование отнюдь не лишен возможностей выявления повреждений в РЭУ, даже в случае формально работоспособного изделия (не говоря уже о функционирующем). Опытный инженер всегда отметит, например, факт перегрева отдельных точек монтажа в РЭУ с мощными выходными каскадами, в случае возникновения такового.

В состав инструкции по ТЭ для РЭС входит таблица с перечнем признаков, позволяющих выявить основные (возможные) состояния, характеризующие функционирование или потерю такового путем визуальных наблюдений.

Часть параметров РЭУиС, которая не может быть проконтролирована визуально, контролируется с помощью специальных упрощенных встроенных средств диагностики и контроля (ВСК), работающих в режиме "годен - негоден".

Оптимизация совокупности параметров при контроле функционирования, как правило, не производится, а при необходимости ее можно осуществить теми же методами, которыми осуществляется выбор совокупности ДП для контроля работоспособности.

Среди перечисленных задач диагностического обеспечения - определение работоспособного состояния является одной из наиболее важных.

Во-первых, потому, что определение работоспособности представляет собой ту операцию технического обслуживания, после которой следует разветвление алгоритма. Если РЭС работоспособна - ТО фактически прекращается, если РЭС находится в неработоспособном состоянии, то начинается следующий этап диагностирования - поиск места отказа, связанный с привлечением дополнительных сил и средств, временных затрат, а главное, с выводом РЭС из режима функционального использования, что также требует затрат энергии, времени, организации.

Во-вторых, важность определения работоспособного состояния обусловлена тем, что работоспособное состояние - есть строго регламентируемое понятие, которое не только определяется государственными стандартами, но и закрепляется техническими условиями на любое радиоэлектронное изделие. Если требование на данный параметр попадает необоснованно в документ, впоследствии исправление такой ошибки ведет к большим организационно-техническим затратам.

В-третьих, если РЭС отказывает во время своего функционального применения, то затраты, связанные с этим отказом, могут во много раз превзойти затраты на диагностирование изделия в работоспособном состоянии.

В-четвертых, наконец, само по себе диагностирование сложных РЭС сопряжено обычно со значительными материальными и временными затратами и простоями дорогостоящего оборудования, которые всегда желательно минимизировать с целью повышения качества и эффективности

диагностирования, но не в ущерб достоверности и полноте диагностирования.

Перечисленные факторы делают задачу выбора ДП для контроля работоспособности сложной, многоплановой и ответственной.

В качестве совокупности ДП для контроля работоспособности обычно используются ПФИ и ряд технических параметров. На совокупность параметров, определяющих работоспособное состояние, задаются нормы, которые в эксплуатационно-технической документации так и называются **"нормы технических параметров"** - сокращенно НТП. Часть ДП РЭС поддается прямым электрическим измерениям - эти параметры образуют множество прямых параметров $A_n = A_{T1}(a_{n1}, a_{n2} \dots a_{nN})$, измерение которых должно давать однозначный ответ, работоспособна или нет диагностируемая система. На практике множество $A_{ni}^n, i=1, N$, заменяется подмножеством $A_{ni}^n, i=1, N$, где $n < N$, в силу того, что не все параметры поддаются прямым измерениям. В этом случае для получения более полной информации о работоспособном состоянии множество A_{ni}^n дополняется подмножеством косвенных параметров A_{ni}^m , задача которого компенсировать образовавшуюся разность $N-n$, обусловленную трудностями прямых измерений. В качестве критерия эффективности введения косвенных параметров $a_{k1} \dots a_{kt}$ может быть использована норма вектора чувствительности:

$$\begin{aligned} \nu(a_{kj}) &= \|\nu(a_{kj})\|, \\ \nu(a_{kj}) &= \left(\frac{\partial a_{kj}}{\partial a_{n1}} \dots \frac{\partial a_{kj}}{\partial a_{nn}} \right), \text{ или} \\ \nu(a_{kj}) &= \left(\frac{1}{a_{n1}} \frac{\partial a_{kj}}{\partial a_{n1}} \dots \frac{1}{a_{nn}} \frac{\partial a_{kj}}{\partial a_{nn}} \right). \end{aligned}$$

После ряда преобразований может быть получено выражение для нормы вектора, по которой следует произвести упорядочение совокупности косвенных параметров:

$$\nu(a_{kj}) = \sum_{q=1}^n \left| \frac{\partial a_{kj}}{\partial a_{nq}} (A_{no}) + \left(\sum_{i=1}^n \frac{\partial^2 a_j}{\partial a_{nq} \partial a_{ni}} (A_{no}) \sum_{d=1}^m \frac{\partial a_{nd}}{\partial a_{kd}} (A_{ko}) (a_{kd} - a_{kd_0}) \right) \right|,$$

где $A_{no} = (a_{no1}, \dots, a_{non})$ - совокупность точек номинальных значений прямых ДП, а A_{ko} - совокупность точек номиналов косвенных ДП.

Достаточность совокупностей прямых и косвенных ДП для оценки состояния РЭС с заданной или определенной достоверностью определяется величиной вероятности правильного диагностирования, определяемой по формуле:

$$P_{\text{ДД}}(n, m) = \frac{\sum_{i=1}^n K_i C_i U(a_m) + \sum_{j=1}^n K_j C_j V(a_{\bar{m}})}{\sum_{i=1}^M K_i C_i U(a_m) / \sum_{j=1}^M K_j C_j V(A_{\bar{m}})},$$

где K_i, K_j - коэффициенты, характеризующие значимость того или иного параметра, а C_i, C_j - стоимость его определения в процессе диагностирования.

Представленные громоздкие математические выражения позволяют решать задачу в общем виде и на любом уровне, а в конечном выражении обретают ясный физический смысл, заключающийся в том, что совокупность ДП - прямых и косвенных должна покрывать все информационное поле, характеризующее состояние объекта и его возможные изменения.

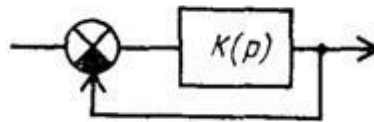


Рисунок 4.1 - Схема непрерывного ОД

Если диагностируемый объект может быть представлен моделью в виде линейных дифференциальных уравнений, его диагностическими параметрами являются корни объекта характеристического уравнения на комплексной плоскости. На рисунке 4.1 приведена схема непрерывного ОД, который описывается передаточной функцией вида:

$$K(p) = \frac{K}{(p+2)(p+4) - K}.$$

Для такого объекта ДМ будет представлять характеристическое уравнение:

$$p^2 + 6p + 8 + K = 0.$$

Полюсы на комплексной плоскости - корни характеристического уравнения:

$$P_{1,2} = -3 \pm (1 - K)^{0.5}.$$

Положение корней на комплексной плоскости определяет пределы устойчивости схемы, т. е. условия ее работоспособности, и влияние на нее различных элементов схемы, в том числе, например, коэффициента демпфирования, который численно равен величине косинуса фазового угла, характеризующего наклон радиуса-вектора- корня передаточной функции:

$$P_{1,2} = \xi \omega_n + j \omega_n \sqrt{1 - \xi^2},$$

$E = \cos \vartheta$, где ϑ - фазовый угол.

Условия работоспособности схемы непрерывного ОД, заданные в виде ограничений на перемещение корней характеристического уравнения, позволяют использовать для решения этой задачи метод малого параметра.

Если контролируемый параметр единственный, как в описанном примере, то его решение в общем виде:

$$U(t, \lambda) = U_0(t) + \sum_{k=1}^{\infty} U_k(t) \lambda^k,$$

где λ - второй параметр схемы.

Применение метода малого параметра возможно при сходимости ряда при достаточно малых λ .

Если ОД представляет дискретную структуру, выбор совокупности ДП может быть произведен на основе анализа ориентированного графа.

Для структурной схемы тракта синхронизации РЛС (см. рис. 3.6) представлены ФДМ и ориентированный граф, каждая вершина которого по своему физическому смыслу соответствует ДП, а совокупность вершин составляет совокупность ДП. Теория графов позволяет минимизировать эту совокупность $\sum U_i$ путем преобразования графа. Для каждого множества вершин U существует так называемое наименьшее внешнее устойчивое множество, в которое заходят все дуги из всех остальных вершин.

Внешнее устойчивое множество находится по определенным правилам. Ориентированный граф выходов (см. рис. 3.6,б) преобразуется в так называемый простой граф, у которого каждая вершина U_i отображается в вершину $\overline{U}_i$, а для каждой дуги (U_i, U_j) образуется дуга $(\overline{U}_i, U_j)$. Затем простой граф упрощается: из него удаляются вершины (U_i, U_j) , имеющие висячие дуги (принадлежат к внешнему устойчивому множеству), а также те вершины U_i , которые полностью заменяются вершинами U_j ($\Delta U_i \subset \Delta U_j$). Операции повторяются до тех пор, пока простой граф оказывается неподлежащим дальнейшему упрощению, т. е. становится неприводимым. Вершины неприводимого графа также принадлежат к устойчивому множеству. Отметим, что если граф является относительно простым (10-20 вершин), то в приведенных преобразованиях нет необходимости. В конфигурации графа нужно просто найти все те вершины, в которые дуги только втекают.

После задачи минимизации совокупности ДП следует задача ранжировки параметров с точки зрения оптимизации алгоритма контроля. Рекомендуется следующий путь ее решения: пусть РЭС характеризуется совокупностью m взаимосвязанных параметров U_i , $1 < i \leq m$, $P(U_i)$ - вероятность того, что все

параметры РЭС в допуске; $C(U_i)$ - стоимость контроля всех параметров совокупности; $g(U_i)$ - стоимость потерь от неполноты контроля РЭС; $\tau_d(U_i)$ - среднее время диагностирования i -го параметра. Оптимизация алгоритма этой ранжировки с одновременной минимизацией средних затрат или среднего времени может быть получена на основе информационной модели.

На практике реализация информационной модели выглядит следующим образом: по функциональной схеме сложного устройства строится ФДМ (см. рис. 3.6,б). Каждому из дискретных состояний в S_i соответствует вероятность P_i .

При числе блоков n - энтропия модулируемого РЭУ:

$$H(S) = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i,$$

При $P_i = \frac{1}{n}$, $H(S) = H_{\max} = \log_2 n$.

Если определение технического состояния производится не по всем, а по n_k параметрам, то

$$H(S_k) = - \sum_{i=1}^{n_k} P_i \log_2 P_i,$$

Каждая из проверок U_i несет информацию о работоспособном состоянии РЭУ в объеме:

$$I_{U_i \rightarrow S} = \log_2 \frac{P(S/U_i)}{P(S)},$$

где $P(S)$ - априорная вероятность пребывания РЭУ в определенном состоянии, например в работоспособном; $P(S/U_i)$ - условная вероятность пребывания системы в состоянии S (работоспособном) при условии, что результат U_i - положительный, т.е. свидетельствует о работоспособности:

$$P(S/U_i) = \frac{P(S)P(U_i/S)}{P(S)P(U_i/S) + P(0)P(U_i/0)},$$

где $P(U_i/S)$ - условная вероятность того, что U_i дает положительный результат при работоспособной системе; $(1-P(S))=P(0)$ - вероятность отказа, т.е. нарушение работоспособного состояния S . С учетом последнего равенства:

$$P(S/U_i) = \frac{P(S)P(U_i/S)}{P(S)P(U_i/S) + P(0)[1 - P(U_i/0)]},$$

Принимаем, что погрешности определения состояния в системе диагностирования отсутствуют, тогда $P(U_i / S) = 1$. Соответственно:

$$P(S/U_i) = \frac{P(S)}{P(S) + P(0) - P(0)P(\bar{U}_i/0)}$$

Тогда

$$I_{U_i \rightarrow S} = \log_2 \frac{1}{1 - P(0)P(\bar{U}_i/0)},$$

откуда следует, что $\max\{I_{U_i \rightarrow S}\}$ будет соответствовать $\max\{P(0) \times P(\bar{U}_i/0)\}$.

Учитывая, что для сопоставления в структуре должно быть проведено n проверок, функция предпочтения проверок по $\max\{I_{U_i \rightarrow S}\}$ принимает вид:

$$\max\{I_{U_i \rightarrow S}\} \rightarrow \max\left[\frac{P(S/U_i)}{P(S)}\right] \rightarrow \left[\sum_{i=1}^n P(S_i)P(\bar{U}_i/0)\right] \rightarrow \max\left[\sum_{i=1}^n P_i(0)P(\bar{U}_i/0)\right].$$

Из матрицы состояний, изображенной на рисунке 4.2 следует, что

$$\max\left[\sum_{i=1}^n P_i(0)P(\bar{U}_i/0)\right]$$

соответствует максимальному количеству нулей в соответствующей строке проверки, т. е. выражению:

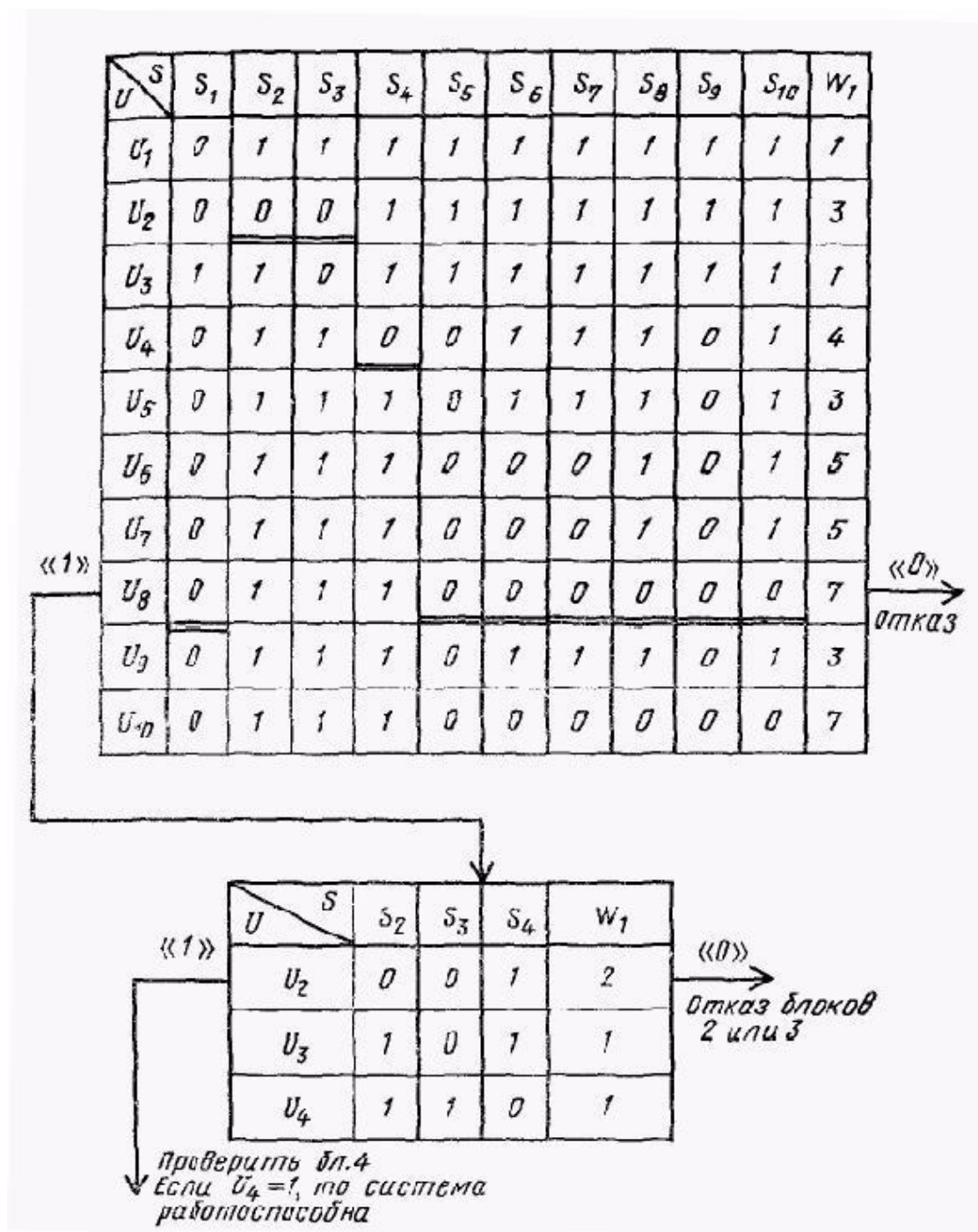
$$\max\{\sum P_i(0)\langle 0_i \rangle\}$$

При реализации приведенного алгоритма выбора информативных проверок следует иметь в виду, что условием реализации является наличие в объекте только одного отказа, откуда обязательное условие:

$$\sum_{i=1}^n P_i(0) = \sum_{i=1}^n q_i = 1.$$

В случае, если при составлении ФДМ на основе априорных данных результат

расчета будет $\sum q_i < 1$, необходимо произвести соответствующую нормировку. Кроме того, условие одного отказа автоматически приводит к равенству $P(0) = P(\bar{S}_i)$.



Если вероятности состояний отдельных блоков РЭС оказываются неизвестными, то вид функции предпочтения упрощается и предпочтение отдается той проверке, в строке которой больше нулей:

$$\max \left\{ \sum_{i=1}^n \langle \langle 0_i \rangle \rangle \right\},$$

Рисунок 4.2 К выбору параметров для проверки работоспособности по матрице состояний

Если известны стоимости отдельных проверок, то функция предпочтения одной проверки другой приобретает свой вид:

$$\max \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{P(\mathbf{o}_i) |\langle \mathbf{o}_i \rangle|}{C(U_i)} \right\},$$

где $C(U_i)$ - стоимость i -й проверки, в состав которой может входить и среднее время диагностирования.

Процедура выбора совокупности ДП для контроля работоспособности в информационной модели выглядит следующим образом: для каждой строки матрицы вычисляют функцию предпочтения W . Первой для реализации выбирают ту проверку U_i , в строке которой $W \rightarrow \max$. По результатам проверки матрицу состояний делят на две части (рис. 4.2). В первую часть входят состояния для которых результаты проверки положительны - "1", во вторую часть - состояния, для которых результаты отрицательны - "0". Первая часть матрицы является исходной для построения новой матрицы, в которую входят непроверенные состояния.

Для новой матрицы вновь определяется функция предпочтения W , и процедура повторяется до тех пор, пока имеется непроверенный параметр. Подчеркнем, что в данной модели реализуется оптимальный алгоритм последовательности контроля работоспособности по информационному критерию.

Контрольные вопросы к 9 разделу

1. Принятие решения о том или ином техническом состоянии осуществляется на основе чего?
2. После задачи минимизации совокупности ДП следует какая задача?
3. Выбор ДП может осуществляться на двух каких стадиях?
4. В какой модели реализуется оптимальный алгоритм последовательности контроля работоспособности?