

5. ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

5.1. Основные понятия и определения

Процесс определения состояния объекта называют *диагностированием*. *Объектом диагностирования* (ОД) может быть блок, устройство, прибор, комплекс, состояние которого устанавливают. Часть объекта, которую при диагностировании нельзя разделить на более мелкие, считают *элементом*. Любой ОД состоит из элементов (в пределе из одного элемента). Результат диагностирования, т.е. заключение о состоянии технического объекта, называют *диагнозом*.

Состояние объекта оценивают по диагностическим показателям (параметрам или характеристикам), определяющим состояние объекта. Каждому состоянию соответствует свое значение диагностических показателей. Если объект может выполнить возложенные на него функции, его называют *работоспособным*, а состояние (состояния) — *работоспособным состоянием*. При изменении диагностического показателя недопустимым образом говорят, что в объекте возник дефект. В объекте, состоящем из нескольких элементов, дефектом будет и нарушение связи или появление лишней связи между элементами. Возникновение дефекта в объекте, состоящем из одного элемента, соответствует потере работоспособности. Дефект в объекте из нескольких элементов не обязательно приводит к потере его работоспособности.

Таким образом, можно говорить о дефектах, приводящих к потере работоспособности, и дефектах, не приводящих к потере работоспособности. При наличии дефекта объект сохраняет работоспособность или за счет избыточности (структурной, временной, информационной), или за счет того, что потеря работоспособности не всех элементов не приводит к потере работоспособности объекта. В тех случаях, когда в объекте возник дефект, но работоспособность не потеряна, говорят, что *степень работоспособности* объекта снизилась, а следовательно, повысилась вероятность его отказа в дальнейшем.

Процесс установления состояния объекта предусматривает наличие обоснованной программы и заданных алгоритмов диагностирования.

Алгоритм диагностирования представляет собой совокупность предписаний о выполнении определенных действий в процессе диагностирования. *Программа диагностирования* состоит из множества алгоритмов, объединяемых единой целью оценки состояния технического объекта. В принципе, в процессе диагностирования в зависимости от условий его выполнения и особенностей технического объекта решают следующие задачи:

- 1) определяют, может ли технический объект по своему состоянию выполнять возложенные на него функции;
- 2) определяют характер дефекта, возникшего в объекте;
- 3) предсказывают момент времени, когда диагностические показатели достигнут определенного значения или когда объект потеряет работоспособность.

Первую из задач — *определение работоспособности объекта*, — как правило, обязательно решают при диагностировании объектов любого назначения. Если объект утратил работоспособность или работоспособность его значительно снизилась, в процессе диагностирования решают вторую задачу — *поиск возникшего дефекта*. Целесообразность решения этой задачи определяется возможностью восстановления объекта, т. е. устранения возникшего дефекта. В свою очередь, устранить возникший дефект можно только тогда, когда объект *ремонтпригоден*, т. е. приспособлен к устранению возникающих в нем дефектов, и обслуживающий персонал имеет средства и время для восстановления объекта. Поиск дефекта начинают, как правило, если известно его наличие, но неизвестно, какой именно дефект возник. Однако бывает ситуация, когда осуществляют поиск возможного дефекта, и такую задачу называют *проверкой исправности объекта*. Решение этой задачи характерно для диагностирования объекта в процессе производства.

Третью задачу называют *прогнозированием изменения состояния объекта*. При ее решении изучают характер изменения диагностических показателей под влиянием внешних и внутренних воздействий и на основе сформировавшихся тенденций предсказывают значения показателей в определенный момент времени.

Наиболее распространены следующие сочетания задач, решаемых в процессе диагностирования: определение работоспособности (степени работоспособности) и поиск возникшего дефекта; определение работоспособности (степени работоспособности) и прогнозирование изменения состояния; определение работоспособности, поиск возникшего дефекта и прогнозирование изменения состояния.

Первое сочетание возможно тогда, когда диагностируют восстанавливаемый объект. В этом случае на основе полученного диагноза обслуживающий персонал восстанавливает работоспособность объекта. Второе сочетание соответствует случаю невозстанавливаемого объекта, когда обслуживающий персонал, учитывая диагноз, принимает решение об использовании или режиме использования объекта. Третье сочетание, когда при диагностировании решают все три основные задачи диагностирования, характерно для восстанавливаемого объекта при необходимости установления срока безотказного его функционирования. Такое положение типично для диагностирования высокосложных и особо ответственных объектов.

Процесс формирования технического диагноза (рис. 5.1) предусматривает следующие процедуры: при положительном результате определения работоспособности *ОР* объекта — выдачу заключения о работоспособности объекта; определение степени работоспособности *ОСР* объекта и выдачу заключения о состоянии объекта; прогнозирование изменения состояния *ПИС* объекта и выдачу заключения о состоянии объекта; при отрицательном результате проверки работоспособности объекта — выдачу заключения о неработоспособности объекта; поиск возникшего дефекта *ПД* и выдачу заключения о состоянии объекта.

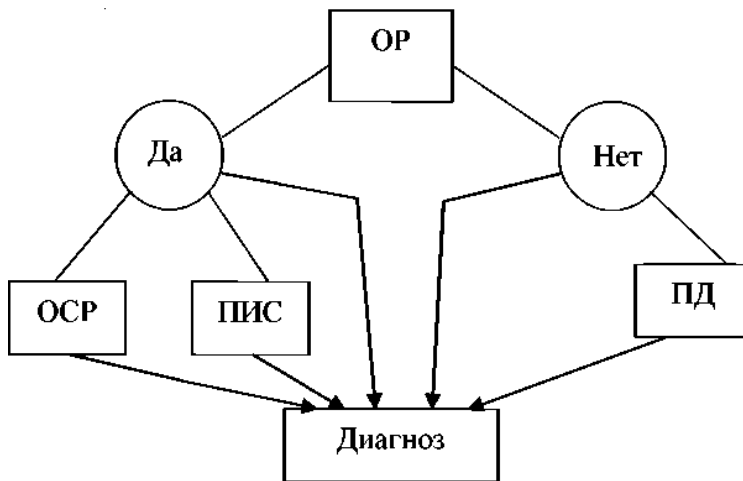


Рис. 5.1 Процесс формирования диагноза

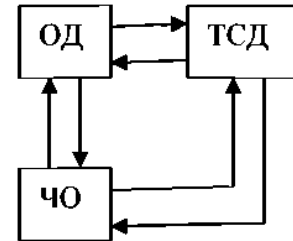


Рис. 5.2 Структурная схема системы диагностирования

Методология технической диагностики основана на следующих исходных положениях.

Первое положение — допущение о том, что технический объект может находиться в конечном множестве состояний S .

Состояние технических объектов под воздействием внешних факторов и вследствие внутренних необратимых процессов изменяется непрерывно, однако из-за ограниченных возможностей контрольных и измерительных средств на практике фиксируют ограниченное множество состояний S . В множестве S выделяют два непересекающихся подмножества S_1 и S_2 : S_1 — подмножество работоспособных состояний, S_2 — подмножество неработоспособных состояний.

Подмножество $S_1 = \{s_i\}$, $i = 1, \dots, n$ включает все состояния, которые позволяют объекту выполнить возложенные на него функции или решить поставленные перед ним задачи. Каждое состояние в этом подмножестве различается степенью или запасом работоспособности, которые характеризуются приближением состояния объекта к предельно допустимому. Оценивают состояние, измеряя и контролируя параметры или характеристики.

Подмножество $S_2 = \{s_j\}$, $j = 1, \dots, m$ включает все состояния, соответствующие возникновению дефектов, приводящих к потере работоспособности объекта. Возможные отказы разделяют на отказы элементов, которые определяют как недопустимые количественные изменения какого-либо параметра (характеристики) вследствие необратимых физико-химических изменений, и отказы объекта, которые трактуются как недопустимые изменения параметров (характеристик) или изменения структурных связей в объекте. Мощность подмножества S_2 определяется количеством различных дефектов или глубиной поиска дефектов. Переход из одного состояния в другое зависит от возникновения в объекте дефекта.

Второе положение — решение задач оценки состояния технического объекта сводится к анализу множества S или подмножеств S_1 и S_2 .

При *определении работоспособности* осуществляют проверку условий работоспособности, по результатам которой состояние ОД относят к одному из подмножеств: S_1 или S_2 .

Условия работоспособности — это условия, в которых ОД может выполнить поставленные перед ним задачи или возложенные на него функции.

При поиске возникшего дефекта после установления, что объект неработоспособен, анализируют подмножество S_2 и устанавливают, какому именно подмножеству S_i соответствует текущее состояние объекта.

При *прогнозировании изменения состояния объекта* анализируют подмножество S_1 причем каждому состоянию s_i из S_1 соответствует вполне определенная степень работоспособности объекта.

Анализ состояний объекта в подмножестве S_1 позволяет установить характер изменения степени его работоспособности, в ряде случаев предсказать моменты перехода объекта в подмножество S_2 и, следовательно, прогнозировать состояние объекта. Успех прогнозирования во многом определяется изученностью условий эксплуатации и возможностью измерения параметров и характеристик, описывающих временные изменения состояния объекта.

Третье положение — в процессе диагностирования участвуют, как правило, ОД, технические средства диагностирования и человек-оператор (ЧО).

Техническими средствами диагностирования (ТСД) называют средства, предназначенные для определения состояния технической объектом.

Совокупность объекта, ТСД, а если требуется, и ЧО образует *систему диагностирования* (рис. 5.2).

Четвертое положение — возникновение в техническом объекте дефекта не означает, что объект неработоспособен. Возникновение дефекта приводит к тому, что объект из одного состояния s_k переходит в другое состояние s_l . Однако при этом условия работоспособности могут не нарушаться в том случае, когда s_k и s_l относятся к подмножеству S_1 состояний. Таким образом, работоспособный объект может иметь дефект так же, как и неработоспособный. Следовательно, заключение о том, что объект работоспособен, не означает, что в нем дефекты отсутствуют. С другой стороны, если объект неработоспособен, то в нем обязательно имеется дефект.

5.2. Характеристика методов диагностирования

Оценить состояние технического объекта можно, наблюдая за выполнением возложенных на него функций (функциональное диагностирование) или подавая на объект внешние воздействия и наблюдая за его реакцией (тестовое диагностирование).

Основное достоинство функционального диагностирования в том, что для его реализации не нужны специальные генераторы стимулирующих воздействий. Диагностирование заключается в обработке информации, характеризующей качество функционирования ОД, т.е. необходимо определить ее характер, выбрать точки в объекте для съема и момент съема информации.

На рисунке 5.3 показана классификация методов функционального ди-

агностирования. Функциональное диагностирование можно осуществлять по конечному результату, т.е. выходу объекта, причем выходную реакцию на рабочие воздействия оценивают одномерно или многомерно. Многомерность характерна для диагностирования дискретных объектов и оценки состояния объектов по диагностическим характеристикам; одномерность, как правило, – для оценки диагностических параметров. Технологическое оборудование и технологические процессы диагностируют по качеству продукции. При этом также возможны одномерные и многомерные оценки.



Рис. 5.3. Классификация методов функционального диагностирования

Функциональное диагностирование осуществляют также, наблюдая за результатом отдельной операции (выходом блока). При этом, как и в предыдущем случае, оценивают реакцию блока - структурной единицы (СЕ) на входное воздействие или результат операции (при производстве – качество промежуточного продукта). И в этом случае возможны одномерные и многомерные случаи.

Диагностирование осуществляют и по алгоритму функционирования объекта. В данном случае фиксируют только последовательность выполнения всех операций или только временные интервалы и продолжительность выполнения операций, или то и другое. Выбор метода определяют специфика объекта и особенности построения алгоритма функционирования.

Состояние объекта в процессе его функционирования оценивают по раз-

личным внешним признакам. В первую очередь, это сопутствующий нагрев отдельных деталей или вообще тепловое поле, создаваемое объектом при функционировании. Нагрев элементов объекта свыше допустимого говорит о возникновении в нем дефекта.

Для оценки состояния электротехнических и электронных объектов используют электромагнитное поле, создаваемое ими при функционировании. Искажение этого поля свидетельствует о том, что состояние объекта изменилось.

Большие возможности для оценки состояния объектов с подвижными элементами вращательного и поступательного движения имеют виброакустические методы. Анализ виброакустического поля объекта позволяет обнаружить ненормальности в его работе, вызванные изменением его состояния.

Для оценки состояния механических объектов в процессе их функционирования используют результаты анализа отработавших газов. Примером таких объектов служат судовые дизели. О состоянии объектов при функционировании судят и по различным косвенным признакам. Так, в объектах с трущимися деталями износ сопровождается увеличением концентрации металлических включений в смазочном масле. Фиксируя эти изменения, судят о степени износа трущихся деталей и, следовательно, об изменении состояния объекта.

Информацию о состоянии объекта дает расход топлива или потребление энергии. Как правило, увеличение потребления топлива (энергии) свидетельствует о нарушениях в работе объекта, которые могут быть вызваны возникновением дефекта.

Следует особо подчеркнуть, что при функциональном диагностировании на вход объекта должны поступать нормальные рабочие сигналы (воздействия) и ОД должен функционировать в нормальных условиях.

Выполнение тестового диагностирования требует специальных генераторов, которые вырабатывают тестовые воздействия, подаваемые в ОД и стимулирующие его реакцию. По степени отклонения реакции объекта от номинальной при тестовом воздействии судят о состоянии ОД. На рис. 5.4 приведена характеристика методов, тестового диагностирования. Тестовое диагностирование осуществляют как при функционировании объекта, так и в тех случаях, когда объект не выполняет своих рабочих функций. При тестовом диагностировании необходимо принять меры, исключающие влияние тестовых воздействий на правильность функционирования объекта. При тестовом диагностировании нефункционирующего объекта может потребоваться введение его в режим диагностирования (прогрев, включение и т. и.).

Для тестового диагностирования используют как рабочие входы (входы, предназначенные для введения рабочих воздействий), так и входы, специально организованные для диагностирования. Это положение справедливо и для съема информации о реакции объекта на тестовое воздействие при его диагностировании.

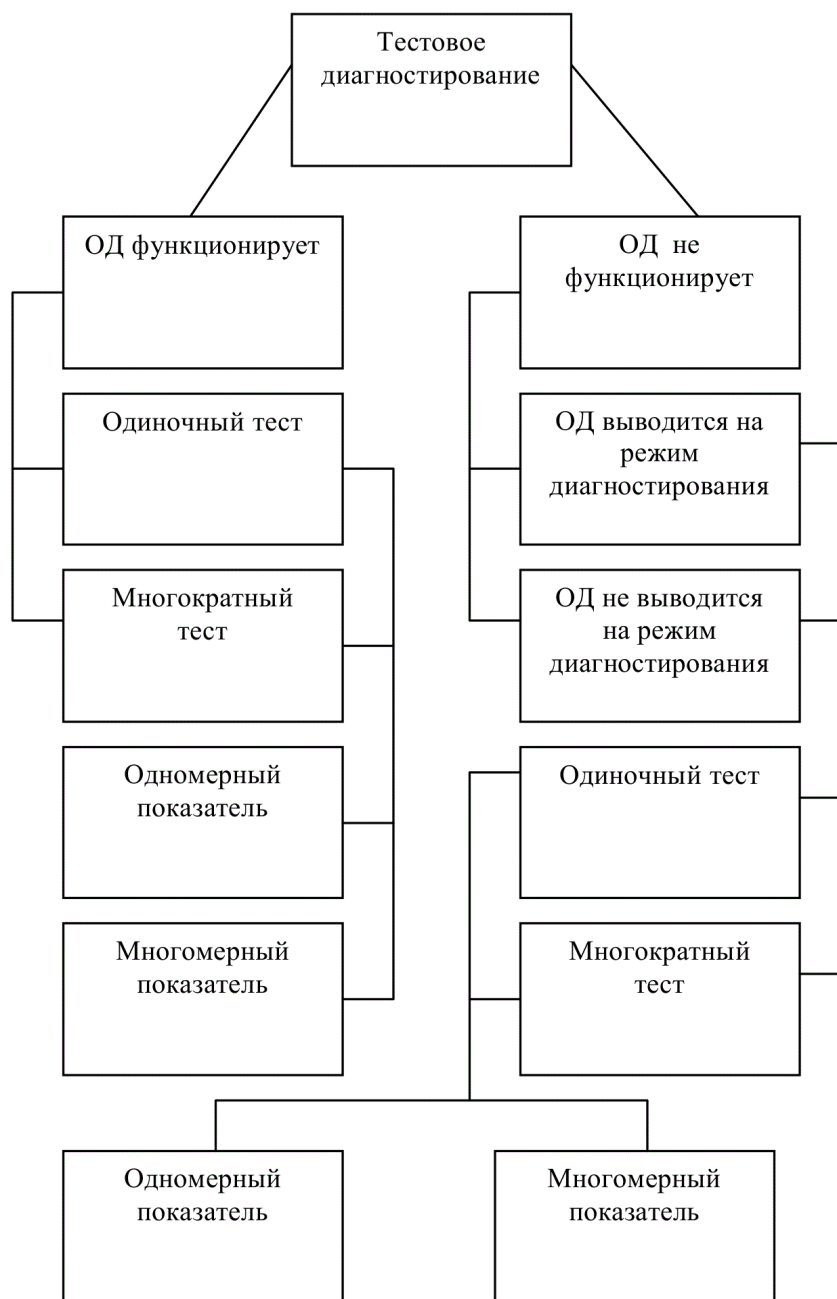


Рис. 5.4. Классификация методов тестового диагностирования

Тестовое диагностирование осуществляют одиночным воздействием, например одиночным импульсом (т.е. в результате одной элементарной проверки), или многократным воздействием (серией импульсов), т.е. в результате совокупности элементарных проверок. Многократное воздействие характерно для тестового диагностирования дискретных объектов, когда на вход подается серия (последовательность) импульсов. При тестовом диагностировании возможен одномерный случай, когда оценивают один показатель, или многомерный, когда оценивают более одного показателя. Многомерные случаи специфичны для дискретных объектов, когда на вход подают и с выхода снимают векторные величины. К многомерному сводится и случай, когда на выходе объекта оценивают один выходной сигнал по нескольким показателям (например, амплитуда и частота).

Для сложного объекта, состоящего из нескольких взаимосвязанных элементов, можно использовать сочетания разных методов при диагностировании различных элементов. При этом допустимо применение для одного объекта как функционального, так и тестового диагностирования.

5.3. Диагностирование в жизненном цикле системы диагностирования

Для любого технического объекта характерны следующие стадии жизненного цикла (рис. 5.5): проектирование, производство, эксплуатация и использование. При этом под эксплуатацией понимают комплекс мероприятий по обеспечению заданного уровня готовности, а под использованием — применение объекта по прямому назначению. Диагностирование связано со всеми стадиями жизненного цикла объекта.

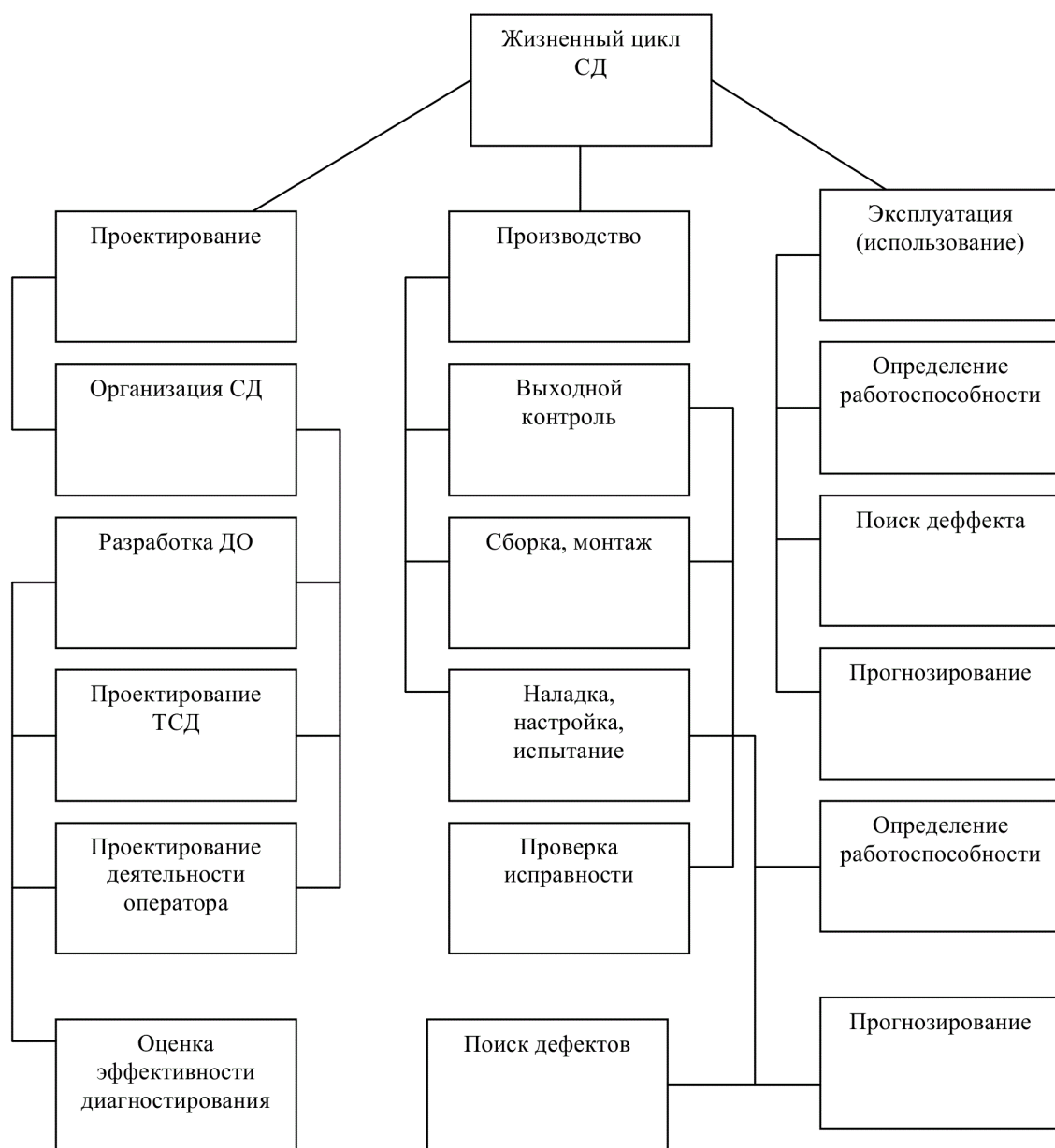


Рис. 5.5. Диагностирование в жизненном цикле технических объектов:
СД - система диагностирования, ДО - диагностическое обеспечение

Перед проектными организациями стоит задача разработки работоспособных объектов, а перед производственными — изготовление объектов, состояние которых входит в подмножество S_x . Соответственно эксплуатационники должны задерживать или возвращать состояние объектов в подмножество S_x . Для решения этих задач в период проектирования необходимо предусматривать оценку состояния разрабатываемого объекта, делая его контролепригодным, в процессе производства нужно оценивать состояние комплектующих элементов, добиваясь работоспособности изготавливаемого объекта, и, наконец, при эксплуатации требуется периодически оценивать состояние объекта для принятия решения о его использовании или восстановлении.

В процессе эксплуатации и использования объекта большую роль играет организация процесса диагностирования объекта и самоконтроля технических средств. В связи с этим на самом начальном этапе проектирования системы диагностирования необходимо решать задачи организации процесса диагностирования (определение периодичности и продолжительности). В ряде случаев при решении этих задач могут быть получены рекомендации по изменению режима использования объекта по назначению.

Для оценки состояния технического объекта (диагностирования) необходимо, во-первых, спроектировать объект, приспособленный к оценке его состояния с требуемой глубиной и достоверностью; во-вторых, создать ТСД, которые позволяли бы оценивать состояние объекта в заданных условиях; в-третьих, определить роль и функции ЧО, участвующего в процессе диагностирования. Иначе говоря, необходимо спроектировать систему диагностирования. Наибольший эффект при диагностировании объекта будет достигнут только в том случае, когда решения, принимаемые при проектировании отдельных элементов системы диагностирования, будут согласованы между собой.

Чтобы объект был приспособлен к диагностированию, необходимо при его проектировании разработать диагностическое обеспечение, включающее перечень оцениваемых диагностических показателей, методы их оценки, условия работоспособности и признаки наличия дефектов, алгоритмы и программу диагностирования. На основе полученного диагностического обеспечения проектируют ТСД, позволяющие оценивать состояние объекта в заданных условиях, и деятельность с учетом принятой степени автоматизации процесса диагностирования. В процессе проектирования определяют практическую эффективность, которую можно достичь при использовании системы диагностирования.

Основная задача производства — обеспечение требований, предъявляемых к объекту и ТСД. Однако уже в процессе производства объекта и ТСД необходимо оценивать их состояние, например состояние отдельных комплектующих изделий и объекта в целом для проверки правильности сборки и монтажа при выходном контроле, а также при настройке, наладке и испытании. Для определения правильности сборки и монтажа на выходном контроле, как правило, проверяют исправность. При настройке, наладке или испытаниях проверяют работоспособность и при необходимости осуществ-

ляют поиск возникшего дефекта. В процессе изготовления комплектующих изделий и элементов ОД в настоящее время часто решают задачу прогнозирования процента выхода годных.

Процесс диагностирования при производстве объекта и ТСД во многом определяют специфика и технология производства. В связи с этим основным в процессе производства будет выбор методов диагностирования, которые должны обеспечивать достаточную глубину и достоверность оценки состояния ОД и ТСД.

В процессе эксплуатации диагностирование выполняют непрерывно или периодически в целях определения работоспособности ОД и ТСД. При необходимости осуществляют прогнозирование или поиск возникшего дефекта для профилактических или восстановительных работ. Диагностирование на этом этапе позволяет обоснованно принимать решения об использовании объекта в требуемый момент времени. Диагностированию подвергают хранящийся или переведенный специально в режим диагностирования объект.

Однако в некоторых случаях диагностируют объект и в период его использования по назначению.

Таким образом, задачи, связанные с необходимостью диагностирования технического объекта на разных стадиях, могут оказаться различными. Это обстоятельство следует учитывать при разработке системы диагностирования, своевременно согласовывая решения, принимаемые при проектировании ее элементов. Отличие в задачах, решаемых при диагностировании объекта на различных стадиях, требует разработки ТСД, предназначенных для использования на конкретных стадиях. Так, технические средства могут предназначаться для диагностирования объектов в процессе производства, в процессе эксплуатации или использования объекта. В ряде случаев идут на компромисс и создают ТСД для диагностирования объектов на всех стадиях.

Система диагностирования эффективна в тех случаях, когда состояние технического объекта будут оценивать на всех стадиях его жизненного цикла. Тогда повышается эффективность использования ОД и надежность его можно поддерживать на уровне, заложенном при проектировании.