

## ГЛАВА 6

# СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ С ПОЗИЦИЙ РАСПОЗНАВАНИЯ И НАДЕЖНОСТИ

Разработка решений по использованию сил и средств Ор, их СУ базируется на информационных решениях по оценке внешних и внутренних факторов.

Эффективность системы принятия информационных решений определяется эффективностью СУ как систем распознавания, «обслуживания», систем, обладающих определенной надежностью.

### 6.1. Анализ систем управления как систем распознавания

#### 6.1.1. Общие положения

Эффективность деятельности систем управления во многом определяется эффективностью принимаемых информационных решений.

Если руководитель не представляет, как на эффективность информационных решений оказывает полнота списка гипотез, что представляют собой признаки объектов, ситуаций, то ему трудно обеспечить высокую достоверность, своевременность информационных решений и как следствие рациональных вариантов использования сил и средств.

При принятии информационных решений деятельность СУ можно представить в виде соответствующих моделей распознавания.

Объясняется это тем, что модели, разработанные в теории распознавания, достаточны для определения с требуемой точностью ряда показателей эффективности, таких как вероятность правильного, ложного распознавания объектов, состояний, ситуаций.

Под системой распознавания в теории распознавания подразумевают систему, которая осуществляет получение и переработку информации и осуществляет распознавания соответствующих объектов, ситуаций, явлений по их признакам, то есть осуществляет принятия информационных решений.

В простых случаях задача распознавания сводится к распознаванию объектов, ситуаций, явлений из числа известных, в более сложных случаях – к распознаванию объектов, ситуаций, явлений, которые частично или полностью неизвестны. В последнем случае приходится как бы синтезировать модель распознаваемого объекта, ситуации, явления.

На практике СУ как система распознавания сталкивается с ситуацией, когда есть некоторый список гипотез о ранее наблюдаемых объектах, ситуациях и описании проявления их признаков и наблюдаются новые объекты, которые на первом этапе определяются как новые (неизвестные), а далее по мере накопления сведений о них уточняется список гипотез и их предполагаемые признаки.

**Анализ показывает, что для любого процесса распознавания (рис. 6.1) справедливы следующие положения:**

1. Есть группа неизвестных объектов, ситуаций, событий, которые на основе некоторой априорной информации могут быть описаны некоторыми сведениями (признаками). В качестве признаков выступают характеристики (параметры), которыми объекты, явления, ситуации схожи или различны.

**2.** Объекты, события, ситуации распознаются путем:

- составления списка гипотез о распознаваемых объектах;
- получения сведений их характеризующих;
- выделения из полученных сведений признаков, характеризующих область, к которой можно отнести наблюдаемые объекты, явления, ситуации;
- определения меры схожести наблюдаемых объектов, явлений, ситуаций с эталонными классами и экземплярами;
- принятия на базе анализа меры схожести, в соответствии с некоторым правилом, решения о наблюдаемом объекте, ситуации, явлении.

**3.** Достоверность, полнота, своевременность принятых решений оцениваются путем их сопоставления с «более достоверной» информацией об объектах, явлениях, ситуациях. По результатам оценки эффективности принятых решений осуществляется коррекция эталонов, процедур добывания признаков, процедур принятия решений.

**4.** В процессе распознавания, на основании анализа решаемых задач, моделей объектов (ситуаций, событий), хода выполнения задач распознавания, осуществляется управление процессами распознавания, которое включает в себя:

- выбор процедур получения сведений и процедур распознавания;
- составление эталонных моделей;
- уточнение списка возможных гипотез;
- оценку эффективности распознавания и хода выполнения поставленных задач;
- коррекцию процедур добывания, распознавания, эталонных моделей, списка гипотез в зависимости от качества распознавания и хода решения поставленных задач.

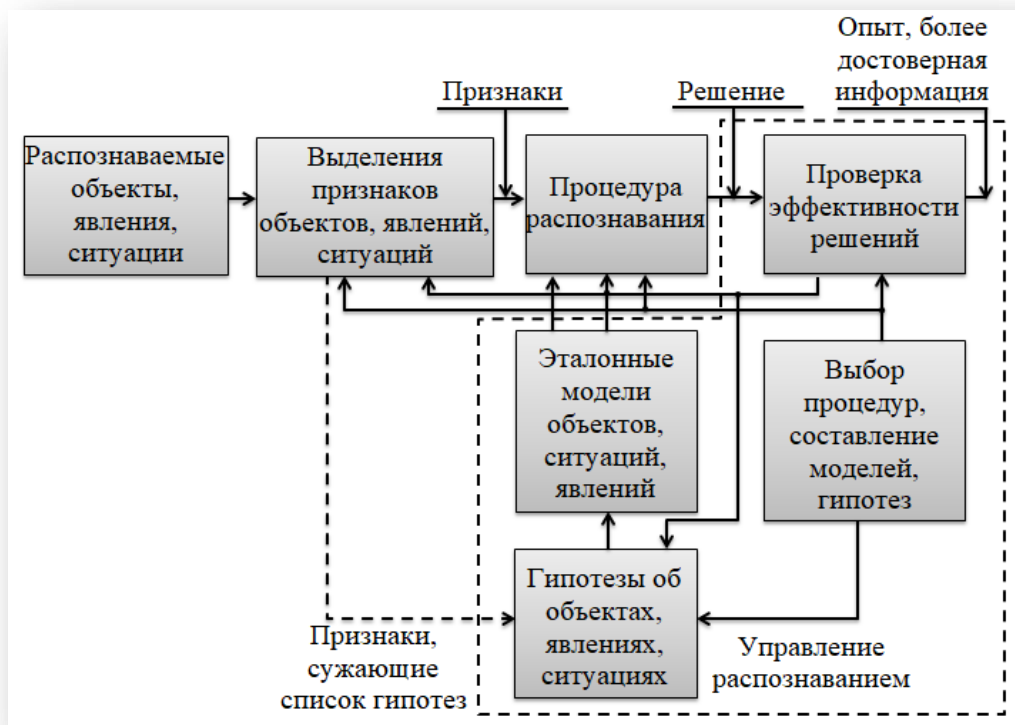


Рис. 6.1. Общий алгоритм распознавания

**Термин распознавания обозначает процедуру отнесения какого-либо конкретного объекта, ситуации, явления к одному из их классов или экземпляров. Понятие «класс» основано на допущении о наличии у некоторого множества объектов, ситуаций, явлений общих свойств (признаков классификации).**

Последнее позволяет пренебречь некоторыми различиями в свойствах между отдельными представителями этого множества. Заметим, что общность свойств некоторого множества объектов, явлений, ситуаций проявляется лишь на фоне их отличий от других множеств. Понятие «класс» имеет смысл только при рассмотрении его на фоне других классов.

Характеристику (параметр), отражающую какое-либо свойство объекта, явления, ситуации и позволяющую по этому свойству объединять или различать объекты, называют **признаком объекта**.

В решении различного рода задач распознавания можно выделить следующие основные направления.

**1. Изучение, описание (моделирование) объектов, ситуаций, явлений и выявление их существенных характеристик, признаков.** При решении этой задачи главное заключается в наиболее простом, удобном, но достаточном для получения требуемых оценок описании объектов, ситуаций, составлении достаточно полного достоверного эталонного списка (словаря) признаков, используемых при распознавании.

**2. Выбор эффективных алгоритмов распознавания.** Алгоритм распознавания основываются на сравнении той или другой меры близости или меры сходства описания распознаваемого объекта, ситуации, явления, выступающего в виде совокупности добытых сведений, с эталонным описанием соответствующих классов, экземпляров объектов, ситуаций и явлений.

Если выбранная мера близости наблюдаемого описания  $\vec{Y}$  и эталонного описания какого-либо объекта  $\vec{X}_g$  ( $g=1, 2, 3, \dots, m$ ) превышает меру близости с другими классами, экземплярами, то принимается решение о принадлежности наблюдаемого объекта к  $X_g$ , то есть  $\vec{Y}_j \rightleftharpoons \vec{X}_g$ , если  $L(\vec{X}_g, \vec{Y}_j) = \text{extr}L(\vec{X}_g, \vec{Y}_j)$ ,  $g = 1, 2, \dots, m$ , где  $L$  – мера близости,  $j$  – номер реализации  $\vec{Y}$ .

Алгоритмы (процедуры) распознавания, оценка эффективности распознавания приведены в приложении № 3.

**3. Определение рациональных правил «внешнего обучения» и «самообучения» системы распознавания.** Эти правила могут касаться процедур составления и коррекции описаний объектов, ситуаций, событий, алгоритмов распознавания, добывания либо на базе внешней информации («внешнее обучение» – работа с учителем), либо на основании информации, добываемой в процессе распознавания («самообучение»). Фактически «обучение» системы распознавания включает в себя определение перечня классов (экземпляров), их системных эталонных моделей, а также процедур добывания признаков и алгоритмов распознавания.

**4. Определение рациональных алгоритмов управления системой распознавания.** В этом случае задача сводится:

- к оценке поставленных перед системой распознавания задач и хода их выполнения;
- к оценке эталонных описаний распознаваемых объектов, ситуаций, событий, процедур распознавания и добывания, возможностей системы распознавания;
- к выработке управляющих воздействий по сосредоточению усилий, изменению структуры, параметров распознающей системы с целью достижения требуемых значений показателей эффективности или оптимизации их значений в складывающихся условиях.

Все сказанное выше позволяет утверждать, что системы распознавания достаточно сложны и разнообразны. Их общая классификация приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1.

## Общая классификация систем распознавания

<b>Признак классификации</b>	<b>Основные классы</b>
<b>По решаемым задачам</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• распознавание ранее известных объектов, ситуаций, явлений;</li> <li>• распознавание неизвестных полностью или частично объектов, ситуаций, явлений;</li> <li>• распознавание изменений в известных объектах</li> </ul>
<b>По сложности</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• простые;</li> <li>• сложные</li> </ul>
<b>По числу используемых уровней распознаваний</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• одноуровневые;</li> <li>• многоуровневые</li> </ul>
<b>По особенностям обучения</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• без обучения;</li> <li>• обучение с учителем;</li> <li>• самообучение;</li> <li>• комбинированные</li> </ul>
<b>По особенностям процедур распознавания</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• логические;</li> <li>• вероятностные</li> </ul>
<b>По наличию управления</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• без управления;</li> <li>• с управлением</li> </ul>

## 6.1.2. Показатели эффективности систем распознавания

Анализ качества работы СУ показывает, что важнейшим элементом их деятельности являются информационные решения.

Эффективность принятия информационных решений в СУ можно оценить с позиций распознавания. В этом случае можно выделить показатели эффективности, характеризующие эффективность распознавания в стационарных и новых условиях, условиях априорной неопределенности, условиях противодействия со стороны внешнего окружения.

**1. Группа показателей, характеризующая эффективность распознавания, включает в себя частные и общие показатели эффективности.** К основным частным показателям этой группы можно отнести:

- **достоверность распознавания** – вероятность правильного распознавания экземпляра или класса, к которым относится распознаваемый объект, ситуация, событие, а также вероятность их ложного распознавания  $P_{лр}$  или вероятность нераспознавания  $P_{нр}$ ;
- **точность распознавания** – точность определения значений тех или иных параметров распознаваемого объекта, ситуации (например, времени появления). Ее можно оценить величиной ошибки определения значения параметра (например, средняя квадратичная ошибка оценки параметра  $\sigma_{\pi}$ ) или величиной доверительного интервала ( $I_{\beta}$ ), в котором с заданной доверительной вероятностью  $\beta$  лежит значение определяемого параметра;
- **полноту распознавания** – вероятность вскрытия любого из распознаваемых объектов, ситуаций –  $P_{вскр}$ ;
- **время распознавания** какого-либо объекта, ситуации  $t_{расп}$ ;
- **ресурс сил и средств, задействованный системой распознавания**  $C_{э\ расп}$ .



Заметим, что все рассмотренные выше частные показатели эффективности в значительной мере зависимы (например, вероятность правильного распознавания и время распознавания).

**К обобщенным показателям эффективности можно отнести:**

- вероятность вскрытия объекта, ситуации с требуемой достоверностью и точностью за заданное время, выделенным ресурсом сил и средств распознавания;
- время вскрытия объекта, ситуации с вероятностью не хуже заданной при выполнении определенных требований к качеству, точности распознавания при заданном ресурсе сил и средств системы распознавания;
- вероятность правильного распознавания объекта, ситуации при выполнении определенных требований по вероятности времени вскрытия, при заданном ресурсе сил и средств системы распознавания;
- ресурс сил и средств системы распознавания, который обеспечивает заданную вероятность вскрытия объекта, ситуации при выполнении определенных требований по достоверности, точности и времени распознавания;
- средняя производительность системы распознавания, т. е. среднее число распознаваемых в единицу времени объектов, ситуаций при выполнении определенных требований по достоверности, точности распознавания и заданном ресурсе сил и средств.

**2. Группа показателей, характеризующих эффективность решения новых задач распознавания, отражает изменение качества решения поставленных задач (вышеперечисленные показатели эффективности) во времени и характеризует эффективность процессов обучения, управления.**

**3. Группа показателей эффективности, характеризующая эффективность решения задач распознавания в условиях априорной неопределенности об объектах и динамике их изменения.** Они отражают изменение рассмотренных выше показателей за счет априорной неопределенности о внешних и внутренних факторах, динамики изменения свойств объектов (ситуаций).

Эти показатели определяются через закон и время адаптации системы распознавания к априорной неопределенности и изменениям свойств объектов.

**4. Группа показателей эффективности, характеризующая качество работы системы распознавания в условиях противодействия,** т. е. в обстановке, когда «некто» путем искусственного увеличения априорной неопределенности об объектах (ситуациях), создания «ложных» объектов распознавания и искажения свойств истинных объектов пытается снизить эффективность системы распознавания и принимаемых информационных решений.

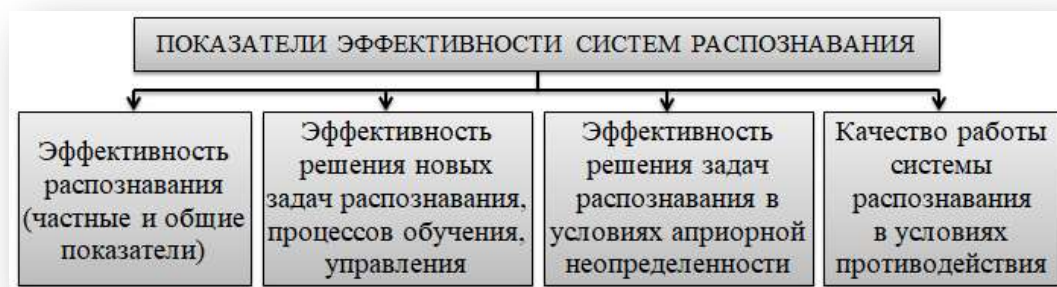


Рис. 6.2. Показатели эффективности систем распознавания

### 6.1.3. Описание объектов, ситуаций, явлений

Решение этой задачи (рис. 6.3) включает в себя:

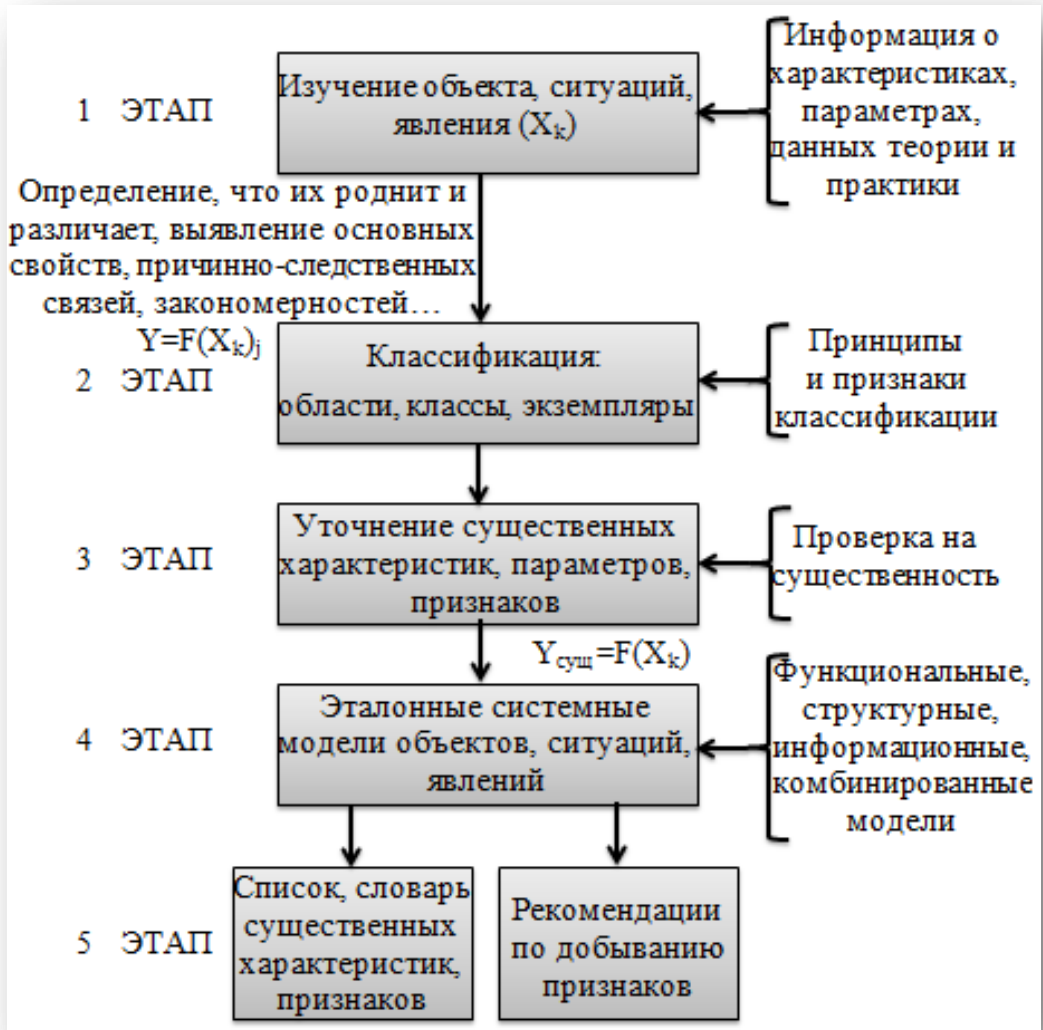


Рис. 6.3. Описание объектов, ситуаций

- всестороннее изучение распознаваемых объектов, ситуаций, явлений на базе всей имеющейся информации;
- выявление их основных свойств, причинно-следственных связей, закономерностей, установление зависимостей между объектами  $\vec{X}_k$  и их характеристиками  $\vec{Y}_j$ ;
- классификацию;
- уточнение и оценку существенных характеристик, признаков, т. е. определение зависимостей  $\vec{Y}_j = F(\vec{X}_k)$ ;
- составление эталонных моделей;
- составление списка, словаря существенных характеристик (признаков) и рекомендаций по их добыванию.

**Для обеспечения эффективного решения этой задачи к объектам, явлениям, ситуациям необходимо подходить с системных позиций:**

- рассматривать их как соответствующие системы, характеризуемые функциональными, структурными, информационными свойствами;
- руководствоваться сформулированными выше принципами моделирования, в частности принципом достаточности описания;
- учитывать, что составление списка существенных характеристик (признаков) осуществляет субъект.

Очевидно, что после включения тех или иных характеристик (параметров) в качестве существенных необходимо осуществить их проверку на существенность. Критерием существенности здесь является степень влияния характеристики (признака) на качество распознавания. Список существенных характеристик (признаков) может в дальнейшем быть минимизирован путем отбора наиболее информативных признаков, исключения зависимых признаков или признаков, которые нецелесообразно использовать по причине трудностей их добывания, слишком большого времени проявления и т. д.

Описание объекта, ситуации, явления  $(X_1, X_2, \dots, X_N)$  на языке признаков  $y_1, y_2, \dots, y_M$  означает, что все объекты, ситуации, явления можно отобразить соответствующей точкой в  $M$ -мерном метрическом пространстве ( $L$ , определяет число используемых признаков).

При этом совокупность признаков  $y_1, y_2, \dots, y_M$  можно рассматривать как соответствующие орты в  $M$ -мерном пространстве (например, трехмерном ( $L=3$ ), т. е.  $k$ -й объект отражается в этом  $M$ -мерном пространстве некоторым вектором

$$\vec{Y}^k = \left\| \begin{array}{c} y_1^k \\ y_2^k \\ \vdots \\ y_M^k \end{array} \right\|,$$

где  $k$  – индекс объекта, порождающего совокупность признаков.

Если признаки  $y_{1j}^k, y_{2j}^k \dots y_{Mj}^k$  детерминированные, то независимо от номера их реализации точка  $M_k$  будет сохранять устойчивое положение.

Если все или часть признаков  $y_1, y_2, \dots, y_M$  случайны, то положение точки  $M$  будет случайно и для различных реализаций, как правило, различно. Конец вектора  $\vec{Y}_j^k$  будет в этом случае лежать в некоторой области  $\Delta U^k$ .

Очевидно, что если области  $\Delta U^k$  для различных  $k$  не пересекаются, то распознавание будет носить однозначный характер.

Если области  $\Delta U^k$  будут пересекаться, распознавание объектов, ситуаций, явлений будет носить вероятностный характер.

**Отметим, что по своей природе признаки могут быть дискретными и непрерывными, детерминированными и случайными.** В первом случае значения  $\vec{Y}_j^k$  – дискретны, во втором – непрерывны.

Любой непрерывный признак  $\vec{Y}$  можно свести к дискретному, разбив область значений признака  $\vec{Y}$  на интервалы  $\Delta Y_j$  и приписав  $\vec{Y} \in \Delta Y_j$  некоторое дискретное значение  $Y_j$  (середина, край интервала  $\Delta Y_j$ ).

Мера информативности того или иного признака может быть определена через вероятность правильного распознавания объекта по данному признаку  $P_{\text{пр. расп}}(x_k, y_{ij})$ , где  $y_{ij}$  – реализация  $i$ -го признака.

Меру полезности какого-либо  $i$ -го признака из используемой совокупности  $L$  признаков можно определить как приращение вероятности правильного распознавания за счет включения в распознавание этого  $i$ -го признака, т. е.

$$W_{\text{п}}(y_i) = P_{\text{пр. расп}}(y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{mj}) - P_{\text{пр. расп}}(y_{1j}, \dots, y_{i-1j}, y_{i+1j}, \dots, y_{mj}).$$

Так как эффективность процессов распознавания в СУ в значительной мере определяется своевременностью распознавания, то для характеристики признаков объектов важно знать не только их информативность и полезность, но и особенности проявления во времени.

Каждый признак можно в этом случае представить в виде соответствующего потока импульсов единичной амплитуды, момент длительности которых совпадает со временем проявления признака во времени.

**В конечном итоге при описании объектов, ситуаций, явлений необходимо распределить их классы (экземпляры), алфавит признаков, зависимости  $\vec{Y}^k = F(X_k)$ , информативность тех или иных признаков, особенности проявления признаков во времени (закон проявления признаков во времени и его параметры).**

## 6.1.4. Оценка эффективности признаков объектов, ситуаций

**Эффективность признаков объектов, ситуаций оценивается со следующих позиций:**

- информативности;
- времени проявления, добывания и обработки;
- устойчивости;
- затрат сил и средств на добывание и обработку.

**В первом случае** критерием информативности выступает степень влияния признаков на достоверность распознавания. Более информативные признаки обеспечивают более высокое качество распознавания. Полезность признака с позиций информативности – это приращение вероятности правильного распознавания за счет его использования.

Мера информативности того или иного признака может быть определена через вероятность правильного распознавания объекта по данному признаку:

$P_{\text{пр. расп}}(x_k, y_{ij})$ , где  $y_{ij}$  – реализация  $i$ -го признака.

Меру полезности какого-либо  $i$ -го признака из используемой совокупности  $L$  признаков можно определить как приращение вероятности правильного распознавания за счет включения в распознавание этого  $i$ -го признака, т. е.

$$W_{\text{п}}(y_i) = P_{\text{пр. расп}}(y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{mj}) - P_{\text{пр. расп}}(y_{1j}, \dots, y_{i-1j}, y_{i+1j}, \dots, y_{mj})$$

Так как эффективность процессов распознавания в СУ в значительной мере определяется своевременностью распознавания, то для характеристики признаков объектов важно знать не только их информативность и полезность, но и особенности проявления во времени.

В конечном итоге при описании объектов, ситуаций, явлений необходимо определить их классы (экземпляры), алфавит признаков, зависимости  $\vec{Y}^k = F(X_k)$ , информативность тех или признаков, особенности проявления признаков во времени (закон проявления признаков во времени и его параметры).

**Во втором случае** признаки оцениваются через время их проявления, время добывания, время обработки. Каждый признак можно в этом случае представить в виде соответствующего потока импульсов единичной амплитуды, момент длительность которых совпадают со временем проявления признака во времени.

**В третьем случае** критерием оценки выступает время, в течение которого информативность признаков практически неизменна и время коррекции характеристик признака тоже неизменно.

**В четвертом случае** на эффективность признаков оказывают влияние эквивалентные затраты на их добывание и обработку.

### 6.1.5. Влияние априорной неопределенности. «Обучение» системы распознавания

**Априорная неопределенность в процессах распознавания проявляется:**

- в полноте достоверности списка гипотез о возможных объектах распознавания;
- в полноте, достоверности, точности функциональных связей между  $X_k$  и  $\vec{Y}_j$  и, в частности, достоверности, точности вероятностных законов  $w(y/X_k)$ ,  $P(Y_j/X_k)$ ;
- в достоверности априорных вероятностей  $P(X_k)$ .



**Информация о списке гипотез влияет на качество распознавания следующим образом:**

- если в список гипотез не включена гипотеза об объекте, то вероятность его правильного распознавания равна нулю;
- если в список гипотез включено большое число «лишних» гипотез, возрастает вероятность ложного распознавания.

Информация о вероятностях  $P(X_j)$  влияет на возможность использования процедур распознавания, основанных на критериях Байеса, «идеального» наблюдателя, среднего риска. В случае отсутствия информации о  $P(X_j)$  целесообразно использовать критерий отношения правдоподобия, логические методы распознавания.

Для устранения априорной неопределенности необходимо осуществлять обучение системы распознавания (внешнее обучение, обучение, самообучение).

**Внешнее обучение или, как его часто называют, «обучение с учителем» может осуществляться следующим образом:**

- в систему распознавания вводится информация о списке гипотез, признаках, процедурах распознавания;
- на вход системы распознавания подается «обучающая» последовательность реализаций признаков;
- «учитель» анализирует эффективность распознавания и на базе этого анализа принимает решения о коррекции используемых процедур распознавания.

## Самообучение системы распознавания.

Самообучение системы распознавания включает в себя (рис. 6.4.):

- использование некоторых исходных процедур добывания и распознавания;
- включение в систему распознавания элемента, который осуществляет анализ качества распознавания, что позволяет осуществлять коррекцию списка гипотез, используемых признаков, процедур добывания и распознавания;
- использование для анализа эффективности распознавания внешней информации (содержащей достоверные сведения об объектах распознавания); внутренней информации (за счет выделения признаков, подтверждающих проявление тех или иных объектов распознавания).

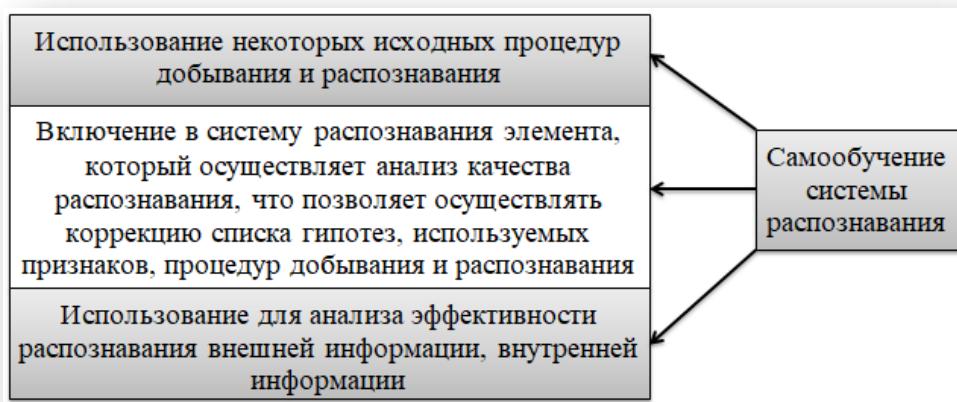


Рис. 6.4. Самообучение системы распознавания

Отметим, что алгоритмы самообучения в реальных системах распознавания имеют большое значение, так как обеспечивают возможности адаптации системы распознавания к изменению распознаваемых объектов и их признаков.

Эффективность процессов самообучения будет определяться временем обучения и достижимым качеством распознавания.

## 6.1.6. Особенности распознавания состояний деятельности объектов

Каждый объект  $X_k$  может в общем случае находиться в различных состояниях деятельности.

В силу этого, состояния объекта можно охарактеризовать некоторым множеством состояний  $\{S_j\}$ , характеристикой которых является матрица вероятностей переходов из состояния в состояние и время нахождения в каждом состоянии:

$$|P_{ij}| = \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{vmatrix}.$$

Если время нахождения в том или ином состоянии случайно, то для его характеристики надо знать закон распределения  $w(t_{Sj})$  и его параметры, например среднее время  $\overline{t_{Sj}}$ .

**Анализ показывает, что основные существенные особенности процессов распознавания состояний объектов сводятся к следующему (рис. 6.5):**

- каждое состояние характеризуется некоторой совокупностью признаков;
- исходное состояние объекта, как правило, известно;
- добываемые признаки для каждого исходного состояния согласованы с матрицей  $|P_i|$ , т. е. ориентированы на добывание только признаков тех состояний, в которые может перейти объект (при этом должно учитываться, что значительная часть признаков проявляется в изменении значений уже наблюдаемых признаков);
- процедуры распознавания учитывают возможные последующие состояния деятельности объекта и их значимость.

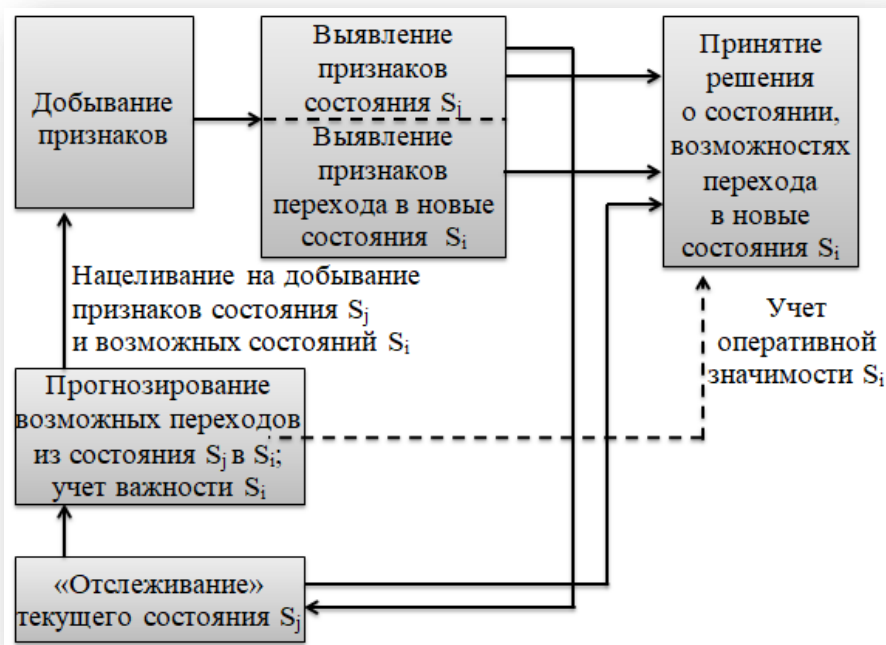


Рис. 6.5. Особенности распознавания состояний

### 6.1.7. Особенности процессов распознавания во времени

Ограниченная пропускная способность реальных систем распознавания может привести к следующим последствиям:

- использование ряда признаков в силу чрезмерно большого времени обслуживания их системой распознавания оказывается нецелесообразным, так как приводит к уменьшению общей вероятности распознавания;
- некоторая совокупность признаков, пусть даже не очень информативных, в силу малого времени обслуживания оказывается достаточно эффективной.

Для анализа системы распознавания с учетом обслуживания целесообразно ее модель представить в виде модели «чистой» системы обслуживания и «чистой» системы распознавания (последняя предполагает, что процессы распознавания происходят бесконечно быстро).

**В этом случае вероятность распознавания с учетом процессов массового обслуживания можно определить как**

$$P_{\text{расп мо}} = P_{\text{обсл}}(\lambda_{\text{вх}}) P_{(\text{расп/обсл})},$$

где  $P_{\text{обсл}}(\lambda_{\text{вх}})$  – вероятность обслуживания признаков распознаваемого объекта системой распознавания;  $P_{(\text{расп/обсл})}$  – вероятность «чистого» распознавания объекта по «обслуженным признакам».

**Для случая, когда процессы обслуживания и распознавания можно считать практически независимыми,**

$$P_{\text{расп мо}} = P_{\text{обсл}}(\lambda_{\text{вх}}) P_{\text{расп}}.$$

Остановимся теперь на особенностях распознавания объектов во времени. Эти особенности будут зависеть не только от свойств системы распознавания с позиций массового обслуживания, но и от особенностей проявления признаков во времени.

Особенности проявления признаков во времени могут привести к тому, что ряд информативных признаков, редко проявляющихся во времени, следует рассматривать как неэффективные.

## 6.2. Устойчивость и надежность системы управления

Общая устойчивость СУ, определяемая ее живучестью и надежностью (работоспособностью), характеризует способность СУ решать поставленные перед ней задачи с учетом возможности выхода отказов техники и невыполнения по каким-либо причинам своих функций личным составом.

Понятие «общая надежность» может быть применено не только к СУ в целом, но и к ее функциональным и структурным элементам.

Если в качестве показателя общей надежности принять вероятность обеспечения работоспособности определенных элементов СРР, то эту вероятность можно определить как

$$P_{\text{общ н}} = \sum_{k=k_0}^N \sum_{j=k_0}^N \sum_{l=k_0}^N \sum_{m=k_0}^N P_{\text{ж}}(k/j) P_{\text{н}}(j/l) P_{\text{лс}}(l/m),$$

где  $P_{\text{ж}}(k/l)$  – вероятность обеспечения живучести определенных  $k$ -элементов СРР из  $j$ ;  $P_{\text{н}}(j/l)$  – вероятность обеспечения технической надежности  $j$ -элементов из  $l$ ;  $P_{\text{лс}}(l/m)$  – вероятность обеспечения эффективного выполнения личным составом ОЗ на  $l$  элементах СРР из  $m$ ;  $k$  – минимально необходимое число элементов.

Рассмотрим основные особенности живучести и надежности СУ.

### 6.2.1. Устойчивость (живучесть) систем управления

Устойчивость (живучесть) СУ характеризуется ее способностью решать задачи в условиях воздействия различного рода неблагоприятных факторов.

Эффективность СУ с позиций живучести можно определить как изменение ее основных показателей  $\Delta W$  под воздействием  $F$  каких-либо неблагоприятных факторов.

Очевидно, что с позиций живучести идеальной системой СУ будет такая, для которой  $\Delta W = F(\text{возд}) = 0$ , а допустимой такая, у которой  $\Delta W = F(\text{возд}) \leq \Delta W_{\text{доп}}$ , где  $\Delta W_{\text{доп}}$  – допустимое снижение показателей эффективности.

Воздействие на ОР ее различных неблагоприятных факторов будет сказываться, прежде всего, в воздействии на ее элементы. Живучесть элементов системы проявляется в способности исключить или снизить оказываемое на них воздействие. Она определяется структурными, функциональными свойствами элементов СУ, уровнем организации и обученности личного состава, а также эффективностью мероприятий по противодействию воздействию неблагоприятных факторов на СУ.

Эффективность СУ с позиций живучести можно определить через изменение ее основных показателей  $\Delta W_{\text{СУ}}$ . Очевидно, что с позиций живучести идеальной системой СУ будет такая, для которой  $\Delta W_{\text{СУ}} = 0$ , а допустимой такая, у которой  $\Delta W_{\text{СУ}} \leq \Delta W_{\text{СУ доп}}$ , где  $\Delta W_{\text{СУ доп}}$  – допустимое снижение показателей эффективности.

Живучесть элементов системы проявляется в их способности исключить или снизить оказываемое на них неблагоприятное воздействие.

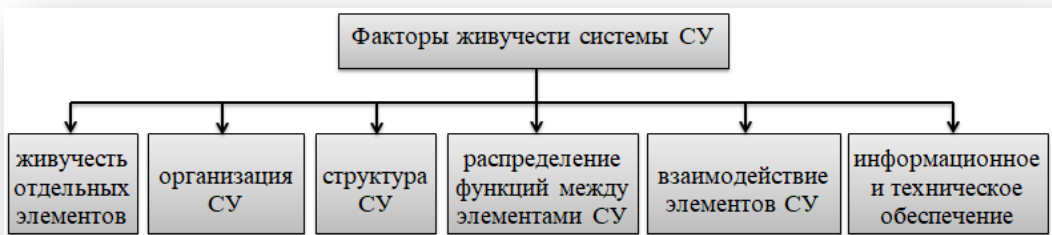


Рис. 6.6. Факторы живучести системы СУ

Сложность современных СУ приводит к тому, что для обеспечения их надежности в условиях действия различного рода неблагоприятных факторов, различного уровня подготовки личного состава необходима разработка и использование системных моделей

СУ, достаточных для прогнозирования отказов, накопления и коррекции признаков этих отказов.

**К факторам, от которых зависит живучесть системы СУ в целом, можно отнести:**

1. Живучесть отдельных элементов. Здесь важным является собственная живучесть элемента и возможность восстановления живучести за счет внутренних и внешних резервов. Успешная реализация данного фактора возможна только при условии, что заранее будет разработан и обеспечен план восстановления живучести.

2. Организация СУ, структура СУ, распределение функций между элементами СУ, взаимодействие элементов СУ, их информационное и техническое обеспечение.

**При распределении функций между элементами можно выделить две крайние ситуации:**

- Элементы специализированы и взаимозависимы. Выход из строя хотя бы одного элемента приводит к невозможности решения поставленной задачи системой в целом.
- Элементы автономны, т. е. отражают в себе все основные функции системы. Выход из строя одного элемента приводит только к пропорциональному уменьшению показателей эффективности системы.

Очевидно, **первый случай** наихудший, так как

$$P_{\text{ис}} = 1 - [1 - P_{\text{п}}(1)]^N .$$

**Второй** обладает максимальной устойчивостью, так как система хотя и в меньшем объеме, но все же обеспечивает решение поставленных задач:

$$P_{\text{ис}} = P_{\text{п}}^N (1).$$

Высокая степень автономности элементов требует соответствующего им информационного, материального, технического обеспечения.



Взаимодействие элементов и управление СУ оказывает влияние на возможности компенсации потерь эффективности системы, обусловленных не работоспособностью отдельных элементов, а путем перераспределения выполняемых задач, оказания взаимопомощи по решаемым задачам, взаимодействию, оказанию помощи силами и средствами.

## 6.2.2. Надежность систем управления

Под надежностью СУ будем понимать их свойства, заключающиеся в способности выполнять поставленные задачи с качеством не хуже допустимого в определенных условиях эксплуатации.

Если охарактеризовать надежность средств, комплексов, систем как вероятность решения ими поставленной задачи и предположить, что надежность технических средств и сил независимы, то

$$P_n = P_{нт} P_{нлс},$$

где  $P_{нт}$  – надежность технических средств;  $P_{нлс}$  – надежность личного состава.

Очевидно, что надежность личного состава определяется его политической, психологической, физической подготовкой, сознательностью и воспитанием.

Анализ показывает, что влияние надежности СУ и ее элементов на показатели эффективности решения поставленных задач целесообразно учитывать путем построения модели СУ, как системы обслуживания с учетом ее надежности. При этом основным показателем эффективности такой системы будет эквивалентная вероятность обслуживания:

$$P_{\text{обсл}} = P_{\text{обсл}} P_{\text{н}},$$

где  $P_{\text{обсл}}$  – вероятность обслуживания требований (сообщений) системой с идеальной надежностью;  $P_{\text{н}}$  – вероятность сохранения требования в системе за счет ее надежной работы.

Последнее позволяет легко определять общие показатели СРР с учетом надежности. Например, объем обслуженных СУ сообщений:

$$V = \lambda_{\text{вх}} P_{\text{обсл}} P_{\text{н}} P_{\text{отб}}.$$

**Основные понятия и показатели эффективности СУ с позиций надежности (рис. 6.7):**

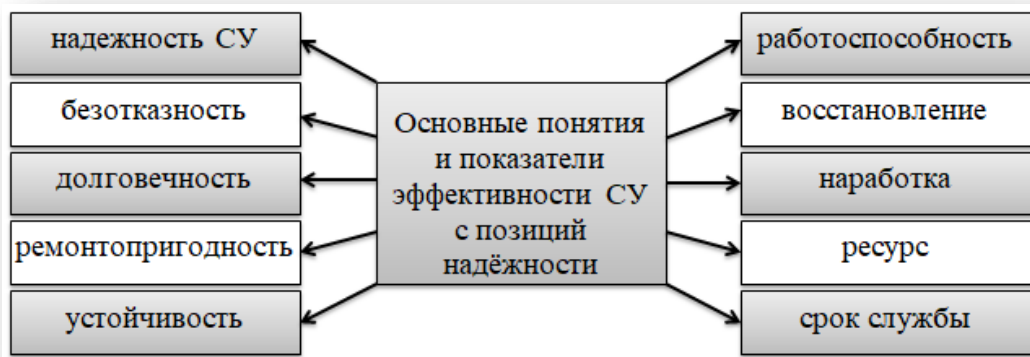


Рис. 6.7. Основные понятия и показатели эффективности СУ

**1. Надежность СУ** можно характеризовать безотказностью, долговечностью.

**2. Безотказность** – свойство СУ непрерывно сохранять работоспособность.

**3. Долговечность** – свойство СУ сохранять работоспособность до наступления предельного состояния.

**4. Ремонтпригодность** – свойство СУ, заключающееся в приспособленности его к выполнению ремонтов и технического обслуживания.

**5. Устойчивость (сохраняемость)** – свойство СУ непрерывно сохранять значения установленных показателей качества в заданных пределах в течение (и после) хранения и (или) транспортирования.

**6. Работоспособность** – состояние СУ, при котором он способен выполнять заданные функции, сохраняя значение основных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией.

**7. Восстановление** – процесс обнаружения и устранения отказа (повреждения) с целью восстановления работоспособности СУ.

**8. Нарботка** – продолжительность или объем работ, выполненный объектом.

**9. Ресурс** – наработка объекта от определенного момента времени до наступления предельного состояния.

**10. Срок службы** – календарная продолжительность эксплуатации СУ от выпуска до наступления предельного состояния СУ.

Основные показатели эффективности элемента, комплекса, СУ с позиций надежности приведены в приложении № 5.

### **6.2.3. Методы повышения надежности систем управления**

Очевидно, что надежность СУ будет зависеть от способа организации, особенностей функционирования, свойств элементов и т. д. **Теория надежности при этом рассматривает три основных случая:**

- надежность нерезервированной системы;
- надежность резервированной системы;
- надежность системы с восстановлением.

**Нерезервированная система.** При последовательном соединении элементов надежность системы равна произведению надежности ее элементов:

$$P_{nc} = \prod_j P_{nj}.$$

где  $P_{nj}$  – надежность отдельных элементов.

Влияние надежности отдельных элементов на показатели эффективности СУ будет зависеть от места элемента в системе.

**Системы с резервированием и восстановлением.** В системах с резервированием повышения надежности системы добиваются за счет введения избыточности, т. е. введения дополнительных средств или возможностей сверх минимально необходимых для выполнения объектом заданных функций.

**Существуют различные методы резервирования:**

- структурное – за счет использования избыточных элементов структуры;
- временное – за счет использования избыточного времени;
- информационное – за счет использования избыточности информации;
- функциональное – за счет использования способности элементов выполнять дополнительные функции;
- нагрузочное – использование избыточности по отношению к способности восприятия нагрузки;
- входных воздействий – использование запоминающих устройств для дублирования и хранения входных воздействий.

Общие способности резервирования видны из табл. 6.3.

Таблица 6.3.  
Способности резервирования

<b>Признак классификации</b>	<b>Вид резервирования и его особенности</b>
Способ включения резерва	<ul style="list-style-type: none"> <li>• постоянное (резервные элементы участвуют в функционировании наравне с основными);</li> <li>• резервирование замещением (функции основного элемента передаются резерву после отказа основного)</li> </ul>
Кратность резервирования	<ul style="list-style-type: none"> <li>• однократное резервирование;</li> <li>• многократное резервирование</li> </ul>
Состояние резерва	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ненагруженный резерв;</li> <li>• облегченный резерв;</li> <li>• нагруженный резерв</li> </ul>
Схема включения резерва	<ul style="list-style-type: none"> <li>• общее резервирование (на случай отказа объекта в целом);</li> <li>• отдельное резервирование (на случай отказа отдельных элементов)</li> </ul>
Характеристики резерва	Восстанавливаемый резерв (резервный элемент, работоспособность которого в случае отказа подлежит восстановлению)
Фиксация резерва	<ul style="list-style-type: none"> <li>• фиксированное резервирование (место подключения резервного элемента фиксировано);</li> <li>• скользящее резервирование (группа основных элементов резервируется одним или несколькими резервными элементами, каждый из которых может заменить любой из основных элементов)</li> </ul>
Однородность резервирования	<ul style="list-style-type: none"> <li>• однородное резервирование (в одном объекте используется один вид резервирования);</li> <li>• смешанное резервирование</li> </ul>

Надежность систем с резервированием может быть определена путем определения вероятности безотказной работы системы с учетом всех основных особенностей резервирования.

Например, структурное резервирование (нагруженный резерв) обеспечивает параллельное включение трактов. Общая надежность такой системы будет равна

$$P_{\text{н}} = 1 - \prod_j (1 - P_{\text{н}j}),$$

где  $P_{\text{н}j}$  – надежность  $j$ -го тракта.

Для случая резервирования входных воздействий

$$P_{\text{н}} = 1 - (1 - P_{\text{нтр}})(1 - P_{\text{нзу}}).$$

Именно разумное резервирование (в первую очередь наименее надежных элементов) в значительной мере позволяет обеспечить требуемую надежность системы даже в условиях использования недостаточно надежных элементов. Вид используемого резерва, его особенности могут наложить определенные особенности на принципы организации системы.

Однако не только резервирование позволяет существенно повысить надежность Ор ее элементов.

**Важное место в повышении надежности занимает также рациональная эксплуатация СУ. Последняя (с точки зрения обеспечения высокой надежности) должна включать в себя:**

- разработку и реализацию условий эксплуатации СУ, обеспечивающих ее максимальную надежность (режимы работы, климатические условия);
- организацию рациональной профилактики элементов СУ;
- разработку и реализацию рациональных методов поиска и устранения ошибок и неисправностей;
- совершенствование методов управления состоянием элементов СУ.

**Первое направление** базируется на знании неблагоприятных и благоприятных режимов работы элементов.

**Второе** – имеет цель минимизировать суммарные потери, учитывающие затраты на профилактику, и потери в результате ухудшения эффективности системы за счет конечной ее надежности, или имеют цель достигнуть требуемых показателей надежности.

Очевидно, рациональные методы профилактики базируются на анализе данных о состоянии системы. При этом **возможны два варианта организации профилактик:**

- плановые профилактики на основе анализа статистических данных о надежности;
- профилактики, плановое время проведения которых определяется по результатам текущего прогноза технического состояния средств, комплексов.

**В первом случае** период профилактики  $T_{\Pi}$  можно выбрать исходя из того, что вероятность безотказной работы за время  $T_{\Pi}$  должна быть достаточно велика:

$$P_{\Pi}(t = T_{\Pi}) \geq P_{\Pi \text{ тр.}}$$

Для пуассоновского потока отказов

$$P_{\Pi}(t = T_{\Pi}) = e^{-\lambda_{\text{отк}} T_{\Pi}} \geq P_{\Pi \text{ тр.}}$$

Отсюда

$$T_{\Pi} \leq -\frac{\ln(P_{\Pi \text{ тр.}})}{\lambda_{\text{отк}}}.$$

Ввиду того что в сложных технических средствах действуют различные по интенсивности потоки отказов, **наиболее вероятный путь организации рациональной профилактики – это организация разных по целям, сложности, периоду проведения профилактик.** Простейшие профилактики, такие как ежедневный контроль (технический осмотр), проводятся наиболее часто, более сложные виды проводятся реже.

Плановая профилактика организуется по результатам текущей оценки состояния технических средств. Очевидно, такая профилактика при достоверном и своевременном прогнозе времени отказа способна обеспечить существенное повышение надежности.

**Разработка и реализация рациональных методов поиска и устранения неисправностей включают в себя:**

- оптимизацию поиска отказов СУ с позиции теории распознавания (выделение классов неисправностей, их признаков, использование рациональных процедур распознавания);
- оптимизацию поиска неисправностей путем использования рациональных тестовых воздействий на исследуемый объект.

**Совершенствование методов управления состоянием средств, комплексов должно включать:**

- анализ состояния надежности (работоспособности) элементов СУ;
- оценку сформулированных выше направлений повышения надежности;
- планомерно-перспективное управление надежностью (профилактика, «упреждающая» профилактика, замена, совершенствование);
- текущее управление надежностью (работоспособностью) в масштабе времени, близком к реальному («отслеживание» состояния, выявление и устранение отказов).

Сложность современных СУ Ор обуславливает, что эффективное обеспечение надежности, в условиях различного рода внутренних и внешних факторов, требует разработки и использования системных моделей СУ Ор, внешних факторов. Эти модели должны быть достаточными для прогнозирования отказов, а также накопления и коррекции сведений об информативных признаках тех или иных отказов, рациональных приемах восстановления работоспособности СУ Ор, проведения профилактики, ремонтов. Именно это является необходимым условием обеспечения эффективности деятельности личного состава, занятого обеспечением высокой надежности СУ Ор.