

**Определение надежности,  
безотказности,  
работоспособности,  
долговечности,  
ремонтпригодности**

# Актуальность проблемы оценки и обеспечения надежности.

- Надежность является одной из наиболее важных характеристик, учитываемых на этапах разработки, проектирования и эксплуатации различных технических систем АСУ ТП.
- В современных условиях значительно возрастает актуальность практического решения вопросов оценки и обеспечения надёжности систем управления, так как с недостаточной надёжностью связываются серьёзные потери экономического и даже политического характера.

- В 90-х годах XX века и начале XXI века с определенной регулярностью происходили серьезные аварии, катастрофы и происшествия.
- В целом ряде случаев они приводили к большим человеческим жертвам, нарушению экологии и крупным финансовым затратам на ликвидацию последствий от происшествий. Причинами таких аварий являлось отсутствие должного внимания к вопросам надежности и безопасности сложной техники, сложных объектов и систем; отсутствие надлежащего количественного анализа и корректных проектных оценок надежности.

Достаточно вспомнить, например, такие факты.

При запуске космического корабля «Маринер-1» к Венере в США и «Фобос-1» к Марсу в СССР произошли потери этих объектов из-за ошибок в программных средствах системы управления.

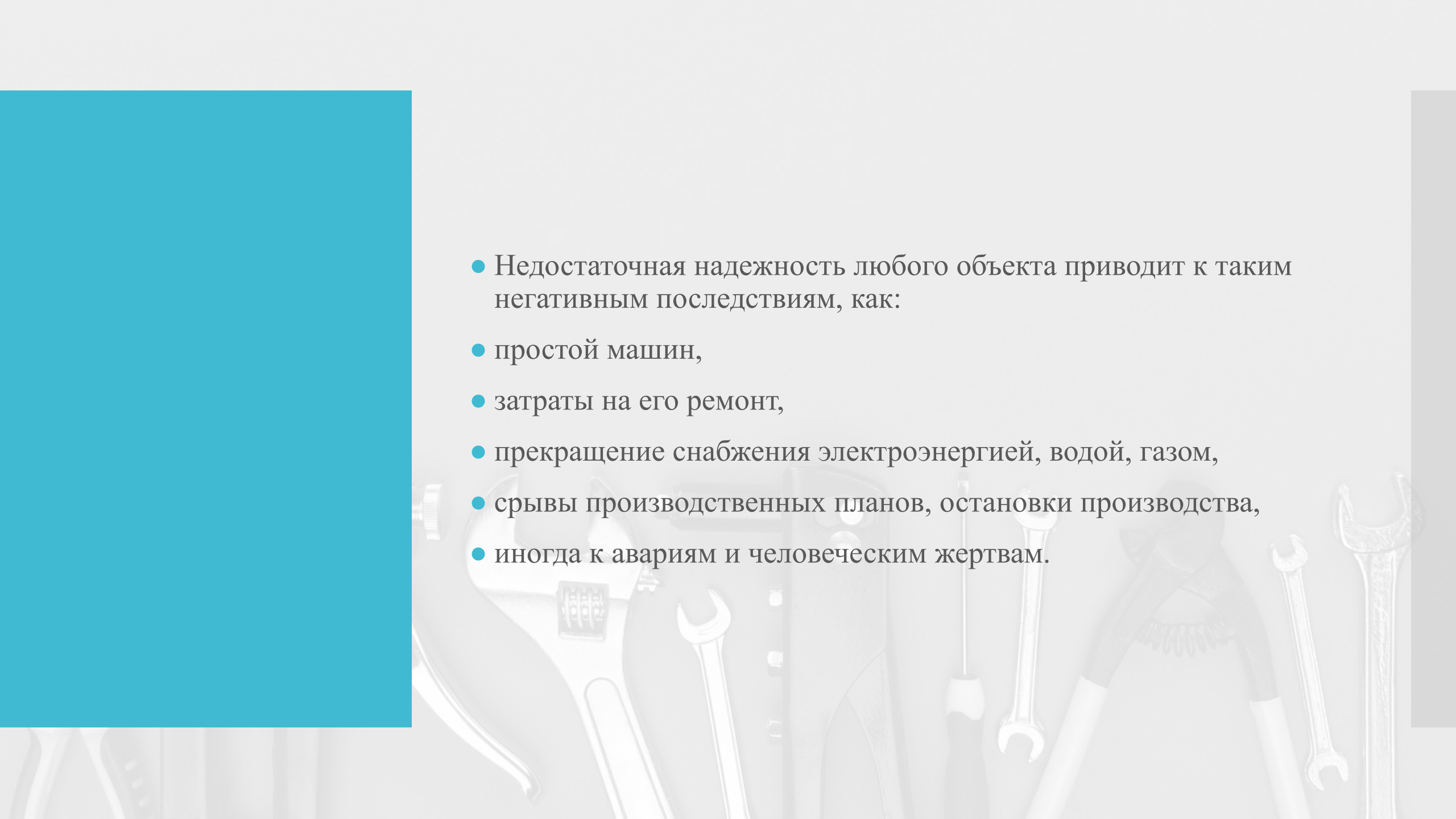
Кроме того, большую опасность представляет нарушение работы в системах специального управления. Так, программная ошибка в главном компьютере североамериканской службы ПВО в 1980 г. поставила мир на грань ядерной катастрофы: служба сообщила, что на США движутся советские ракеты.



Советская автоматическая  
межпланетная  
станция (АМС) серии  
«Фобос».

Запуск Маринера-1



- 
- Недостаточная надежность любого объекта приводит к таким негативным последствиям, как:
  - простой машин,
  - затраты на его ремонт,
  - прекращение снабжения электроэнергией, водой, газом,
  - срывы производственных планов, остановки производства,
  - иногда к авариям и человеческим жертвам.

- Во избежание негативных последствий, обусловленных недостаточной надежностью систем автоматизации следует осуществлять **своевременную проектную оценку надежности АСУ ТП**. Ее проводят в целях определения основных проектных решений, способных обеспечить необходимый уровень надежности, безотказности и ремонтпригодности системы.
- Следует отметить, что оценка надежности проводится не только для систем, создаваемых впервые, но и для модернизируемых АСУ ТП. В результате сбора и обработки исходных данных о надежности системы, технических и программных средствах разрабатывают мероприятия по повышению надежности.

- В результате освоения данного курса вы научитесь осуществлять проектную оценку надежности АСУ ТП на ранних стадиях проектирования для обеспечения требуемого уровня безопасности и работоспособности системы, оценивать уровень безотказности систем. Все эти навыки позволят иметь объективную информацию о состоянии системы на стадии создания АСУ ТП ее слабых элементах, опасных узлах и компонентах. На основе такой информации разрабатываются рекомендации и мероприятия по увеличению надежности и безопасности АСУТП.

- Структура требований к автоматизированным системам по надежности определена в ГОСТ 34.602-89. Она включает в себя:
- 1) состав и количественные значения показателей надежности для системы в целом или ее подсистем;
- 2) перечень аварийных ситуаций, по которым должны быть регламентированы требования по надежности, и значения соответствующих показателей;
- 3) требования по надежности технических средств и программного обеспечения;
- 4) требования к методам оценки и контроля показателей надежности на разных стадиях создания системы в соответствии с действующими нормативно-техническими документами.



- Разработку требований надежности осуществляют проектные организации или проектные отделы компании. Однако можно рассчитать показатели надежности самостоятельно.
- Автоматизированную систему управления, как и любую сложную систему, целесообразно рассматривать как совокупность элементов с определенной взаимосвязью между собой, таких как ТСА (технические средства автоматизации), ПО (программное обеспечение) и ОП (оперативный персонал).

- Приблизительно надежность АСУ ТП оценивают с учетом только комплекса технических средств, как оказывающих наиболее существенное влияние на надежность системы в целом. Тем не менее, опыт разработки и применения АСУ свидетельствует также, что важнейшей проблемой является надежность сложных управляющих программ, работающих в реальном масштабе времени. Из-за наличия скрытых ошибок в программах могут возникать аварийные ситуации и значительно снижаться эффективность АСУ.
- Поэтому в данном разделе будут рассмотрены все основные элементы системы (датчики, модули, ПО, приводы и т.д.) и их работа на безотказность, их рабочий ресурс, ремонтпригодность и их сохраняемость.

# Основные понятия теории надежности

- Прежде всего, для понимания теории расчета надежности необходимо ознакомиться с основными понятиями, которые будут встречаться в дальнейшем. В основу их перечня положен ГОСТ 34.602-89.

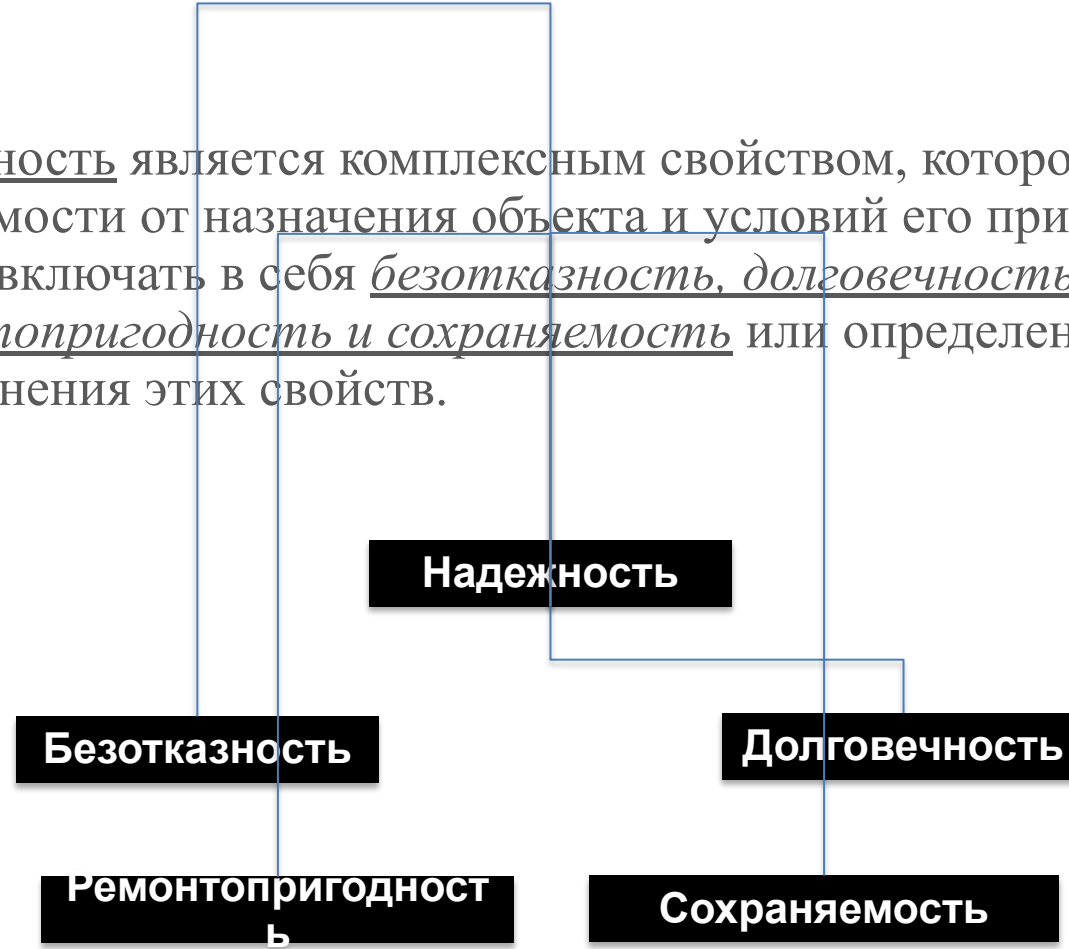
- *Надежность автоматизированных систем управления* — свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих определенным режимам и условиям пользования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки.
- Это можно продемонстрировать в виде простой схемы. Для системы задается срок службы, и предельные значения параметров. Пока параметры находятся в заданных пределах, система работоспособна и наоборот, если параметры вышли за значения пределов, то произошел отказ.

- **Надежность АСУ ТП** определяется как способность этой системы и ее отдельных элементов обеспечивать бесперебойную работу технологического процесса, не приводящую к срыву производства и авариям в электрической и технологической частях.
- Как пример, можно привести надежность системы электроснабжения, которая характеризуется повреждаемостью оборудования, ожидаемой продолжительностью бесперебойной работы, длительностью перерыва питания электроэнергией, а также ущербом от перерыва питания и другими факторами.

- Предметом надежности является изучение причин, вызывающих отказы объектов, определение закономерностей, которым они подчиняются, разработка способов количественного измерения надежности, методов расчета и испытаний, а также разработка путей и средств повышения надежности.

# Надежность и ее составляющие

- Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения, может включать в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные объединения этих свойств.



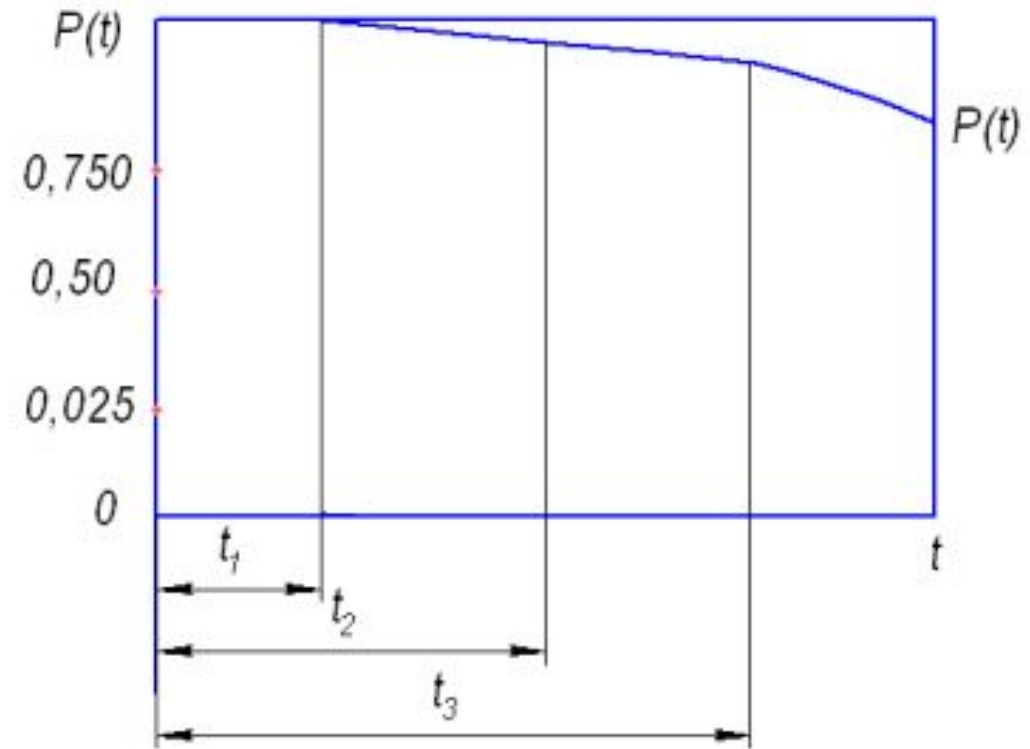
**безотказность** автоматизированных систем управления — свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени и в определенных условиях;

Достоинство показателя безотказности — возможность достаточно просто судить о надежности. Безотказность систем меняется во времени или по мере увеличения наработки (рисунок).

Безотказность характеризуется:

- вероятностью безотказной работы  $P(t)$ ;
- интенсивностью отказов  $\lambda$ ;
- наработкой на отказ.

Зависимость вероятности безотказной работы  $P(t)$  от времени эксплуатации





- **ремонтпригодность** автоматизированных систем управления — свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и устранению их последствий путем технического обслуживания и ремонта.

Характеристики ремонтпригодности:

- Простота и удобство разборки и сборки руками или с минимальным набором инструментов
- Заложенное при конструировании деление изделия на легко заменяемые элементы (модули, блоки)
- Комплектование изделия обоснованным при его создании набором запасного имущества, инструмента, расходных материалов
- Возможность быстрого поиска подлежащего замене элемента отказавшего изделия
- Наличие понятных и полных указаний по ремонту в составе технической документации

● **сохраняемость** автоматизированных систем управления — свойство объекта непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние в течение и после хранения и (или) транспортирования;

К показателям сохраняемости отнесены следующие показатели надёжности:

- Вероятность безотказного хранения
- Вероятность отказа при хранении
- Интенсивность отказа при хранении
- Средний срок сохраняемости — математическое ожидание сохраняемости;
- Гамма-процентный срок сохраняемости — срок сохраняемости достигаемый объектом с заданной вероятностью  $\gamma$ , выраженной в %.

- ***долговечность*** автоматизированных систем управления — свойство объекта сохранять работоспособность (выполнять требуемые функции) до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов.

Долговечность характеризуется:

- - средним ресурсом;
- - средним сроком службы.

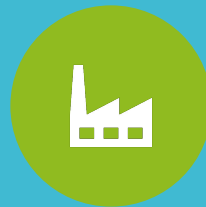
# Состояние объекта

- Надежность использует понятие объекта.
- Объектами являются те или иные технические средства: отдельные детали, узлы, сооружения, машины, подсистемы, аппаратура, функциональные единицы, устройства, элементы или любая их часть, которая рассматривается с точки зрения надежности как самостоятельная единица.
- Надежность является составляющим показателем качества объекта. Таким образом, чем выше надежность объекта, тем выше его качество.

- Объект характеризуется жизненным циклом.
- Жизненный цикл объекта состоит из ряда стадий: проектирование объекта, изготовление объекта, эксплуатация объекта.
- Каждая из этих стадий жизненного цикла влияет на надежность изделия.
- На стадии проектирования объекта закладываются основы его надежности, на которую влияют: выбор материалов (прочность материалов, износостойкость материалов), запасы прочности деталей и конструкции в целом, удобство сборки и разборки, механическая и тепловая напряженность конструктивных элементов, резервирование важнейших или наименее надежных элементов и другие меры.



**ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
ОБЪЕКТА**



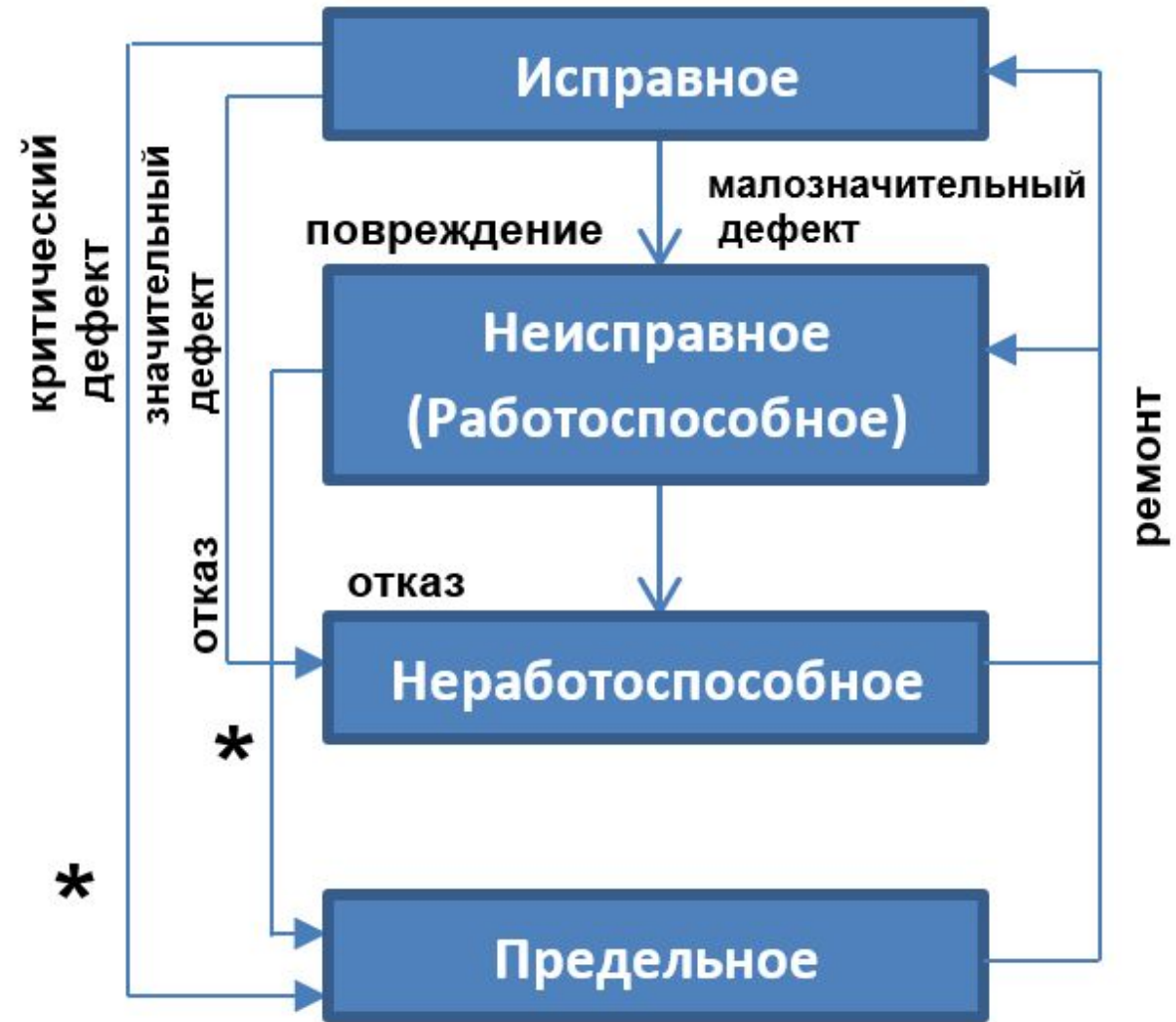
**ИЗГОТОВЛЕНИЕ  
ОБЪЕКТА**



**ЭКСПЛУАТАЦИЯ  
ОБЪЕКТА**

- На стадии изготовления надежность определяется выбором технологии производства, соблюдением технологических допусков, качеством обработки сопрягаемых поверхностей, качеством используемых материалов, тщательностью сборки и регулировки.
- На стадии проектирования и изготовления определяются конструктивно-технологические факторы, влияющие на надежность объекта. Действие этих факторов выявляется на стадии эксплуатации объекта. Кроме того, на этой стадии жизненного цикла объекта на его надежность влияют и эксплуатационные факторы.

Для характеристики объекта эксплуатации применяются следующие термины: исправность, неисправность, работоспособное или неработоспособное состояние, предельное состояние.



- **Предельное** состояние - состояние объекта, при котором дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Критерий предельного состояния должен быть установлен в нормативно-технической и конструкторской документации в виде признака или совокупности признаков, после появления которых эксплуатация должна быть прекращена.



---

**Исправное** состояние. Состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

---

**Неисправное** состояние. Состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

---

**Работоспособное** состояние. Состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

---

**Неработоспособное** состояние. Состояние объекта, при котором значения хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

---

*Для описания различных **повреждений объектов** используются следующие термины:*

---

**Отказ** - событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

---

**Повреждение** - событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния. (Обратное событие - переход из неработоспособного состояния в работоспособное, называется восстановлением).

---

**Дефект** – каждое отдельное несоответствие объекта установленным требованиям.

| ПРИЗНАКИ ОТКАЗА                                                                        | ВИД ОТКАЗА                     | ХАРАКТЕРИСТИКА ОТКАЗА                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Характер возникновения. (Характер изменения параметра до момента возникновения отказа) | Внезапный отказ                | Скачкообразное изменение значений одного или нескольких заданных параметров объекта                                                                                                             |
|                                                                                        | Постепенный отказ              | Постепенное изменение одного или нескольких параметров за счет медленного, постепенного ухудшения качества объекта                                                                              |
|                                                                                        | Независимый                    | Отказ не обусловлен повреждениями или отклонениями других элементов (узлов)                                                                                                                     |
| Зависимость. (Связь с отказами других элементов (узлов, устройств)).                   | Зависимый                      | Отказ обусловлен повреждениями или отказами других элементов (узлов, устройств)                                                                                                                 |
|                                                                                        | Сбой                           | Самоустраняющийся отказ, приводящий к кратковременному нарушению работоспособности                                                                                                              |
|                                                                                        | Перемежающийся                 | Многokrатно возникающий сбой одного и того же характера (возникающий и исчезающий)                                                                                                              |
| Характер проявления отказа                                                             | Устойчивый (окончательный)     | Отказ, устраняемый только в результате проведения восстановительных работ, является следствием необратимых процессов в деталях и материалах.                                                    |
|                                                                                        |                                |                                                                                                                                                                                                 |
| Причина возникновения отказа                                                           | Конструкционный                | Возникает вследствие нарушения установленных правил и норм конструирования                                                                                                                      |
|                                                                                        | Производственный               | Возникает из-за нарушения или несовершенства технологического процесса изготовления или ремонта объекта                                                                                         |
|                                                                                        | Эксплуатационный               | Возникает вследствие нарушения установленных требований эксплуатации объекта                                                                                                                    |
|                                                                                        | Деградационный                 | Возникает вследствие естественных процессов старения, изнашивания, коррозии и усталости при соблюдении всех установленных правил и (или) норм проектирования, изготовления и эксплуатации.      |
|                                                                                        | Явный                          | Очевидный отказ.                                                                                                                                                                                |
| Характер обнаружения                                                                   | Скрытый                        | Отказ не обнаруживаемый визуально или штатными методами и средствами контроля и диагностирования, но выявляемый при проведении технического обслуживания или специальными методами диагностики. |
| Время возникновения отказа                                                             | Период приработки              | Обусловлен скрытыми производственными дефектами, не выявленными в процессе контроля                                                                                                             |
|                                                                                        | Период нормальной эксплуатации | Обусловлен несовершенством конструкции, скрытыми производственными дефектами и эксплуатационными нагрузками                                                                                     |
|                                                                                        | Период старения                | Обусловлен процессами старения и износа материалов и элементов ТС                                                                                                                               |



В зависимости от способа устранения отказа все объекты разделяют на **ремонтируемые (восстанавливаемые)** и **неремонтируемые (невосстанавливаемые)**.



К ремонтируемым относят объекты, которые при возникновении отказа ремонтируют и после восстановления работоспособности снова вводят в эксплуатацию.



Неремонтируемые объекты (элементы) после возникновения отказа заменяют.

# Надежность объектов в эксплуатации

- Для определения надежности объектов в эксплуатации используются временные понятия.
- 1. Нарботка - продолжительность или объем работы объекта. Нарботка может быть как непрерывной величиной (продолжительность работы в часах, километраж пробега и т.д.), так и дискретной величиной (число рабочих циклов, запусков).
- 2. Нарботка до отказа - наработка объекта от начала эксплуатации до возникновения первого отказа.
- 3. Нарботка между отказами - наработка объекта от окончания восстановления его работоспособного состояния после отказа к возникновению следующей отказа.
- 4. Время восстановления - продолжительность восстановления работоспособного состояния объекта.
- 5. Ресурс - совокупное наработки объекта от начала его эксплуатации или восстановления после ремонта до перехода в предельное состояние.
- 6. Срок службы - календарная продолжительность эксплуатации от начала эксплуатации объекта или восстановления после ремонта до перехода в предельное состояние.

- **Вопросы для самопроверки:**
- Назначение расчета надежности системы?
- Чем характеризуется безотказность систем?
- Чем определяется работоспособное состояние системы?

*1. Свойства, характеризующие надежность:*

- a) характер возникновения отказа, зависимость, причина возникновения отказа;
- b) безотказность, долговечность, сохраняемость, ремонтпригодность или определенные объединения этих свойств;
- c) ресурс, наработка на отказ, срок службы;
- d) исправность, неисправность, работоспособность, безотказность.

*2. Надежность – это:*

- a) свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах;
- b) свойство системы, противоположное понятию «отказ»;
- c) состояние объекта, регламентируемое установленной нормативно-технической документацией;
- d) свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и устранению их последствий путем технического обслуживания и ремонта.

3. Скачкообразным изменением одного или нескольких заданных параметров объекта характеризуется:

- a) постепенный отказ;
- b) внезапный отказ;
- c) частичный отказ.

4. Для характеристики объекта эксплуатации НЕ применяются следующие термины:

- a) исправность;
- b) неисправность;
- c) долговечность;
- d) предельное состояние;
- e) дефект.

5. Долговечность характеризуется:

- a) средним ресурсом;
- b) интенсивностью отказов;
- c) средним сроком службы;
- d) наработкой на отказ.



*6. Характер изменения параметра объекта, причины возникновения отказа, характер выявления отказов – признаки классификации:*

- a) ресурса;
- b) надежности изделия;
- c) отказов;
- d) объектов.

*7. Предельное состояние – это:*

- a) наработка объекта от начала эксплуатации до возникновения первого отказа;
- b) состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.
- c) состояние объекта, при котором дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

*8. Технически исправный объект:*

- a) отвечает всем требованиям нормативно-технической документации;
- b) находится в работоспособном состоянии;
- c) находится в неработоспособном состоянии;
- d) может выполнять часть заданных функций;
- e) другой вариант;