

ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ и НАДЕЖНОСТЬ

Лекции – 24 ч

Лабораторные работы – 16 ч

Практические занятия - 8 ч.

Самостоятельная работа – 51 ч.

Вид итогового контроля - зачет

Список рекомендуемой литературы

1. Анухин В.И. Допуски и посадки – СПб.: Питер, 2008. – 207 с.
2. Белкин И.М. Допуски и посадки (Основные нормы взаимозаменяемости). – М.: Машиностроение, 1992. – 528 с.
3. Дунин-Барковский И.В. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 352 с.
4. Взаимозаменяемость и надежность: учеб. пособие / В.П Федоров; Рязан. гос. радиотехн. ун-т им. В. Ф.Уткина, Рязань, 2019. – 100 с.

Список рекомендуемой литературы (продолжение)

5. Дорохов А.Н.и др. Обеспечение надежности сложных технических систем. СПб: «Лань», 2011. – 352 с.

6. Малафеев С.И., Копейкин А.И. Надежность технических систем. – СПб.: Лань, 2012. – 320 с.

7. Острейковский В.А. Теория надежности. - М.: Высш. шк., 2008. – 463 с.

8. Шишмарев В.Ю. Надежность технических систем. – М.: Изд. «Академия», 2010.



Список дополнительной литературы

1. Александровская Л.Н., Афанасьев А.А., Лисов А.А. **Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем.** – М.: Логос, 2003.
2. Труханов В.М. Надежность технических систем типа подвижных установок на этапе проектирования и испытаний опытных образцов. – М.: Машиностроение, 2003. - 320 с.
3. Чеканов А.Н.. Расчеты и обеспечение надежности электронной аппаратуры. – М.: Изд. КноРус, 2014. – 438 с.
4. Ямпурин Н.П., Баранова А.В. Основы надежности электронных средств. – М.: Изд. Центр “Академия”, 2010. – 240 с.

Доп. литература (продолж.)

5. **Животкевич И.Н., Смирнов А.П.** Надежность технических изделий - М.: Институт испытаний и сертификации вооружений и военной техники, 2004. – 472 с.
6. **Смит Д.Дж.** Безотказность, ремонтпригод. и риск. – М.: ИДТ, 2007. – 432 с.
7. **Взаимозаменяемость и надежность:** методические указания к лабораторным работам / Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: В. П. Федоров, Ю.В. Рябцов, Ю.М. Цыцаркин. - Рязань, 2008. – 24 с.
8. **Кудрявцев А.В., Муханин Л.Г., Федоров Ю.В.** Методическое пособие к выполнению практических работ по дисциплине «Основы взаимозаменяемости». Ч.1 – Допуски и посадки гладких соединений. – СПб: СПб ГУИТМО, 2009.

Доп. литература (оконч.)

9. Андреев А.В. Теоретические основы надежности технических систем /учебное пособие/ А,В. Андреев, В. В. Яковлев, Т.Ю. Короткая. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018. — 164 с.
10. Северцев Н. А. Теория надежности сложных систем в отработке и эксплуатации : учеб. пособие для академического бакалавриата / Н. А. Северцев. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 435 с.
12. Казарин О. В. Надежность и безопасность программного обеспечения : учеб. пособие для бакалавриата и магистратуры / О. В. Казарин, И. Б. Шубинский. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 342 с.

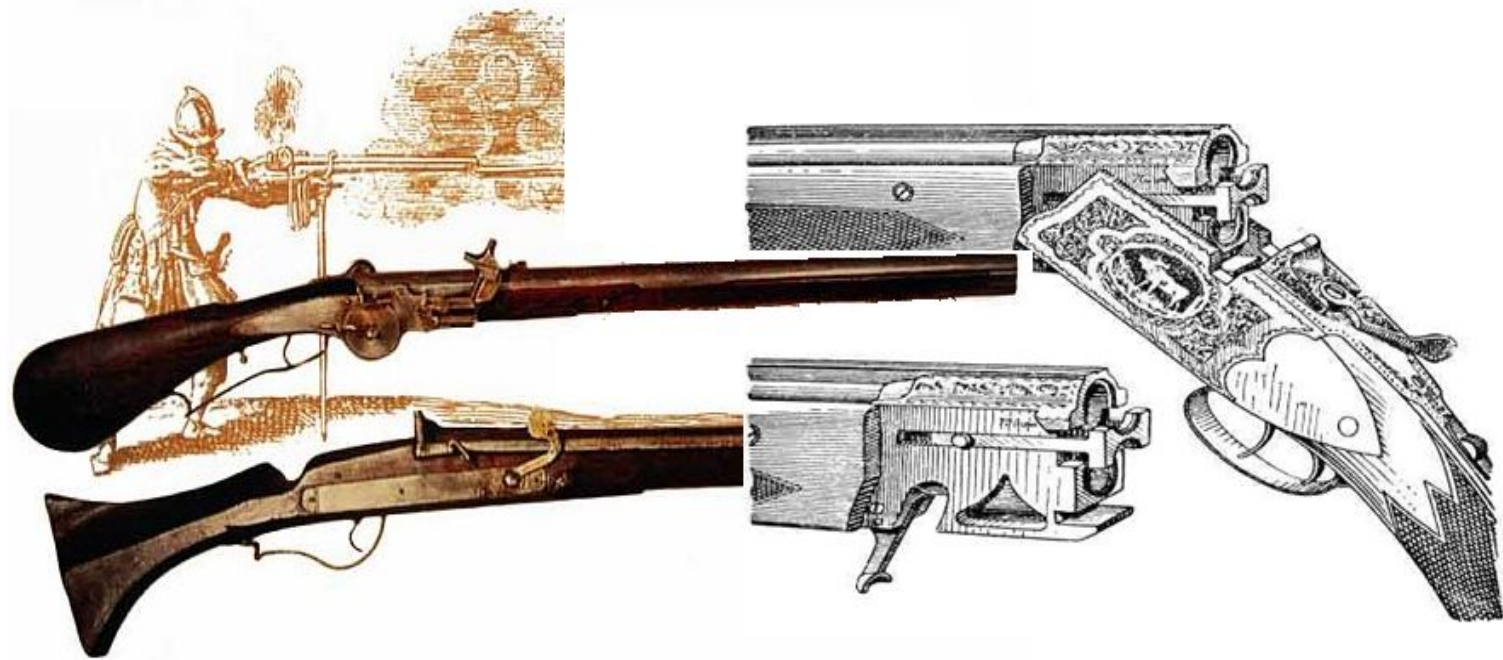
Вв. Основные понятия курса и его специфика

Взаимозаменяемость (Interchangeability) – пригодность одного изделия, процесса или услуги для использования вместо другого изделия, процесса или услуги **в целях выполнения одних и тех же требований.**

Взаим-тью в конструировании называют *принцип нормирования требований* к размерам и другим параметрам деталей и узлов, благодаря чему оказывается возможным изготавливать элементы конструкций независимо и собирать или заменять их без дополнительной обработки при соблюдении техн. требований к изделию.

Пример с инспекцией оружейных заводов в XVIII веке

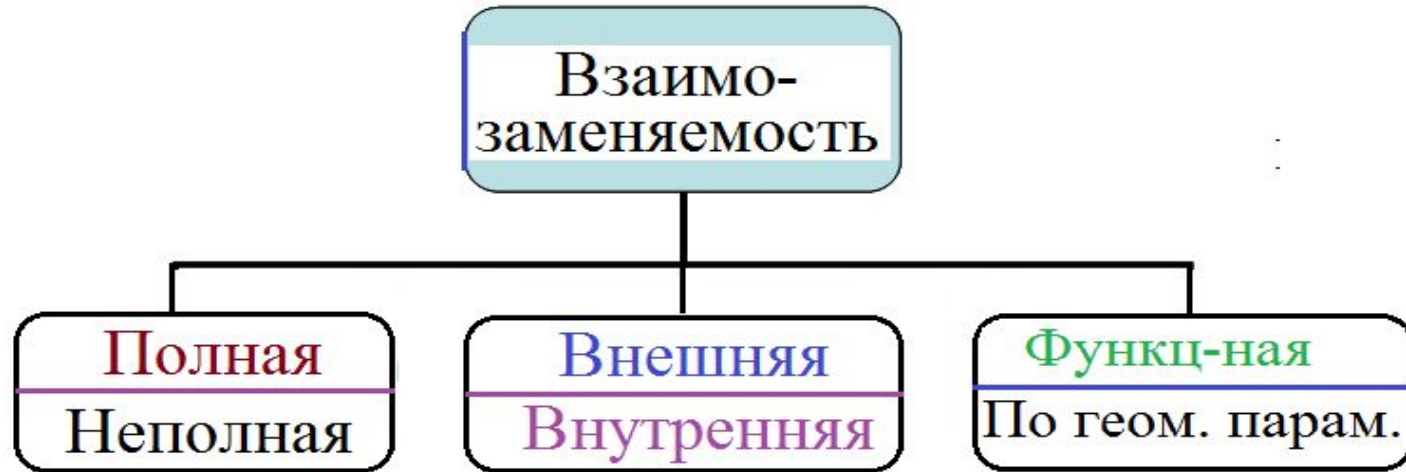
25 ружей разбирали, перемешивали все составные части, затем вновь собирали



Польза взаимозаменяемости

- специализация предприятий;
- упрощение процесса проектирования;
- упрощение сборки, ремонта;
- экономия всех видов ресурсов при эксплуатации

В-сть способствует удешевлению производства и эксплуатации



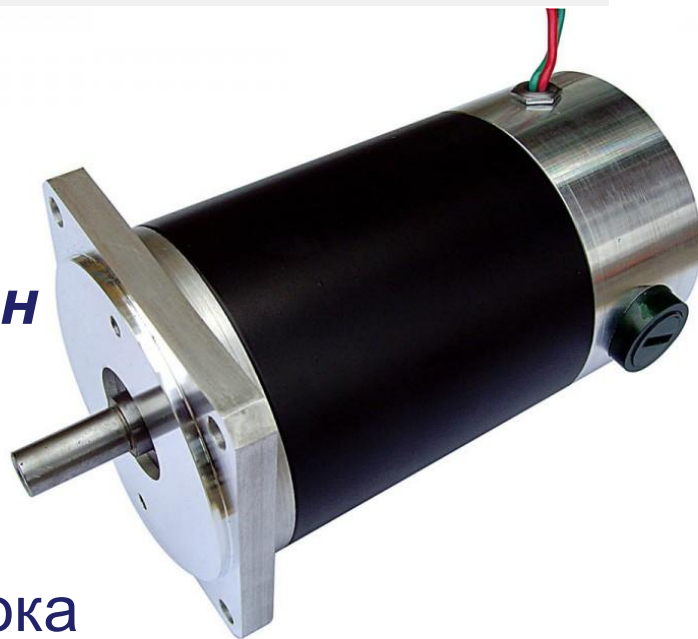
Полная взаимозаменяемость (В-сть) - это обеспечение заданных показателей качества *без дополнительных* подгоночных операций в процессе сборки при изготовлении или ремонте машин и их узлов. Благодаря такой **В-сти** упрощается ремонт машин, так как любую износившуюся деталь или узел заменяют.

Внешняя взаимозаменяемость

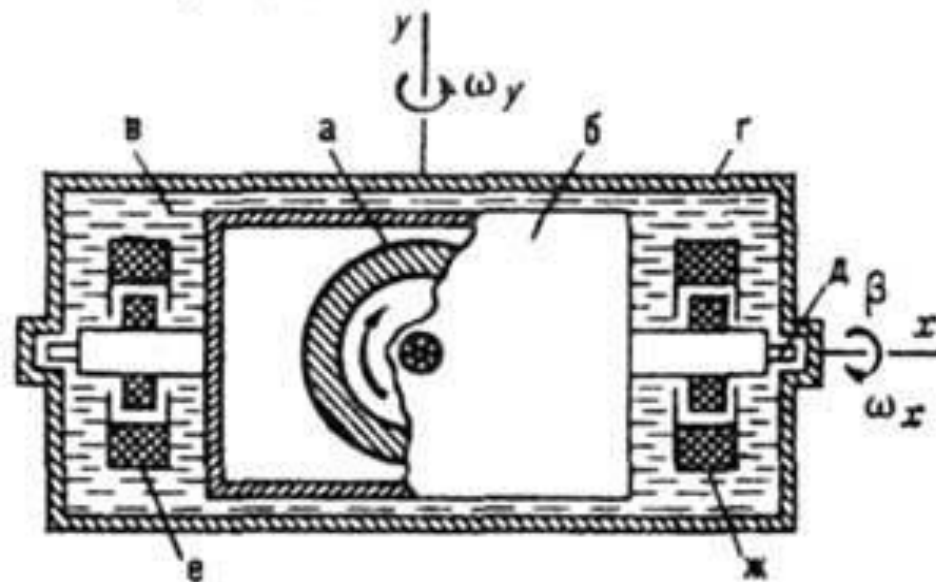
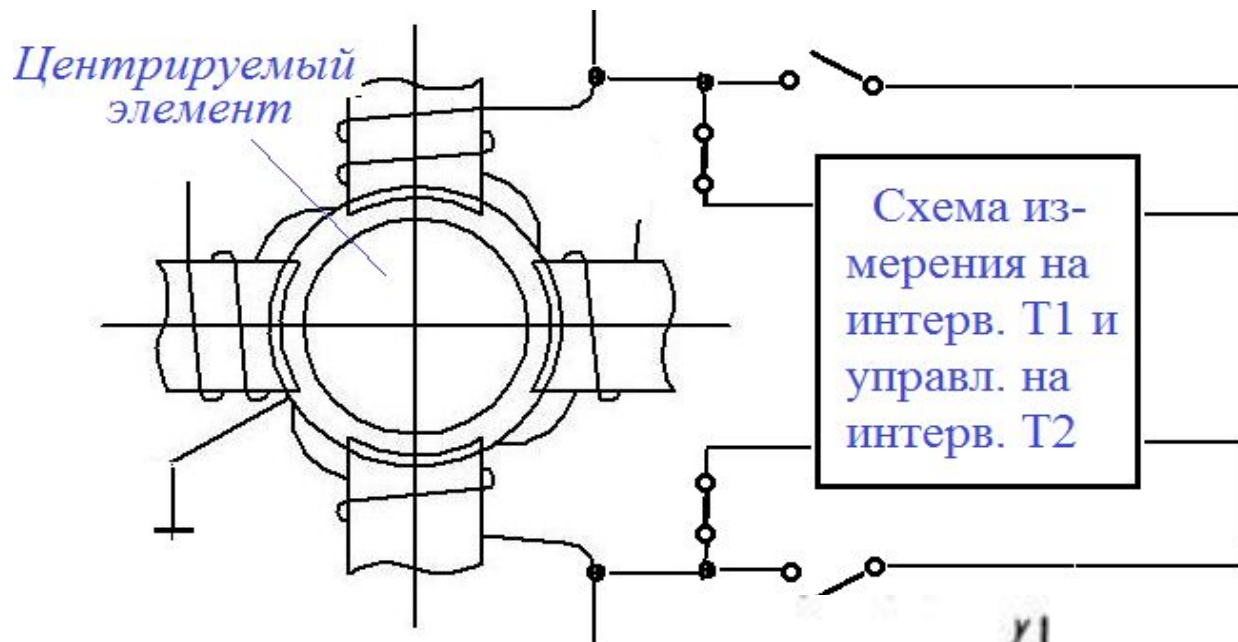
– это **взаимозаменяемость по присоединительным размерам и эксплуатационным параметрам.**

Например,
электродвигатель выбирается
по следующим параметрам:

- частоте вращения вала n , *об/мин*
- моменту на валу M , *Н·мм*
- размерам (присоединительным и габаритным);
- питающему напряжению и роду тока
и др.



Взаимозаменяемость геометрич. и функциональная



Функциональная взаимозаменяемость: общий взгляд



Особенно важен *функциональный* аспект
взаимозаменяемости с учетом
программируемости современных ЭС

Принцип функциональной взаимозаменяемости при конструировании и производстве

Взаимозаменяемость, при которой обеспечиваются в заданных пределах экономически оптимальные эксплуатационные показатели изделий путем установления связей последних с функциональными параметрами и выполнения этих параметров с точностью, определенной исходя из допустимых отклонений эксплуатационных показателей изделий, называется *функциональной* взаимозаменяемостью.

Взаимозаменяемость и точность

Близость значений параметров изделий предписанным значениям называется *точностью* изготовления.

При изготовлении деталей большое число факторов (неточности изготовления инструментов, оборудования) влияет на точность и неизбежно приводит к появлению погрешностей обработки (в размерах и форме деталей).

*Погрешности неизбежны и допустимы
в заданных пределах*

{Основное правило измерительной техники:

Измерять не столь точно насколько это возможно, а так точно, как это необходимо в данной задаче}

Существует ли одинаковость?

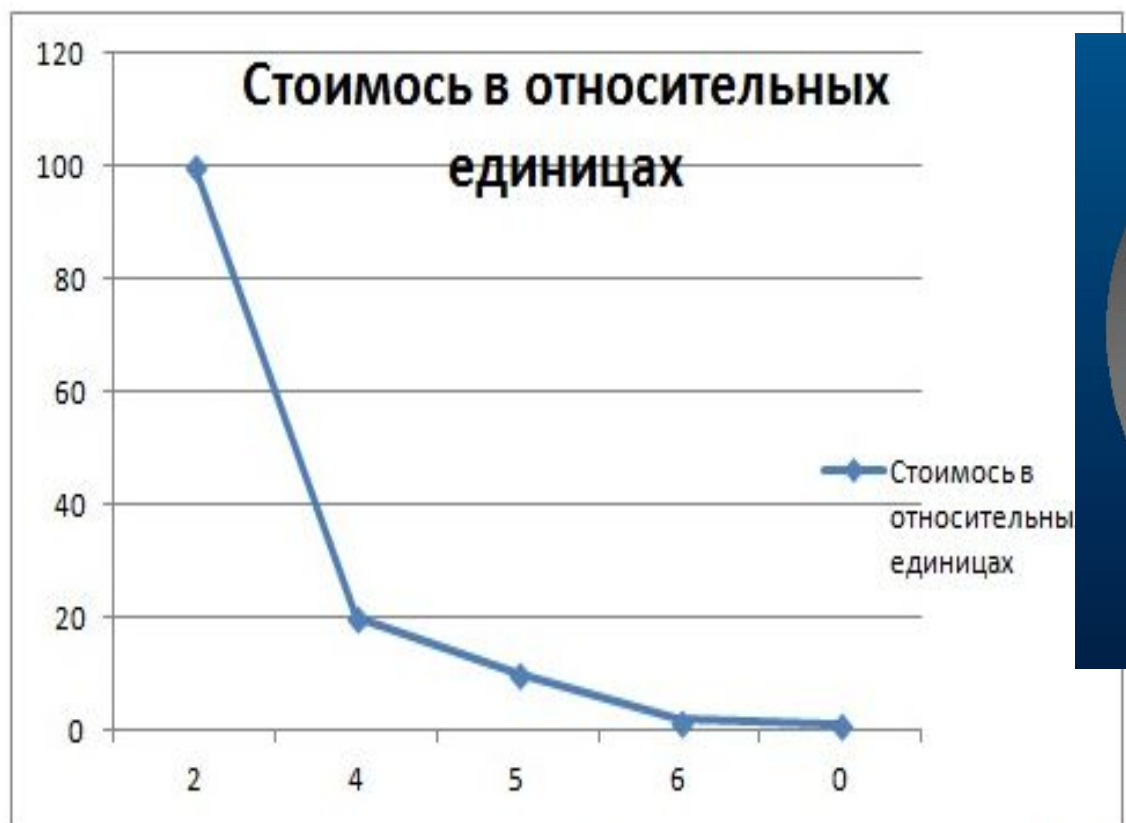
Одинаковость в разных случаях называется также тождеством, равенством, идентичностью, ***эквивалентностью***.



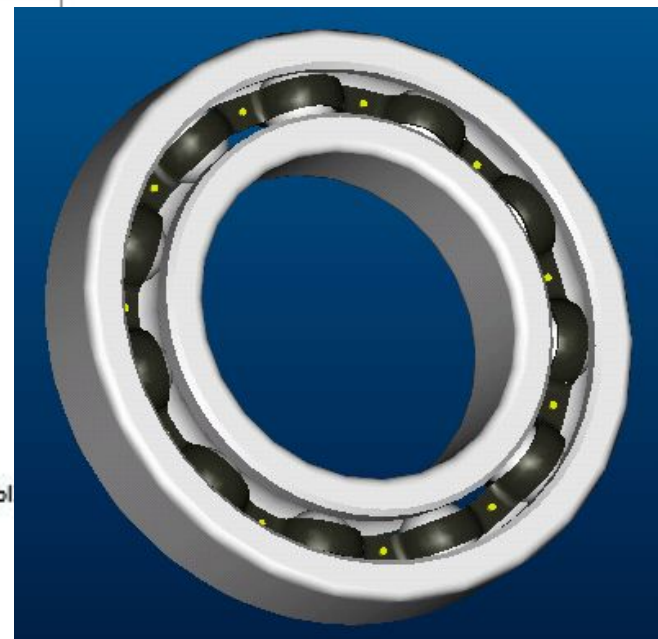
Эквивалентность — это обобщение понятия равенства, означающее, что объекты в определенном отношении ***взаимозаменяемы***.

Монетки, например, имеют ***неодинаковый*** вес

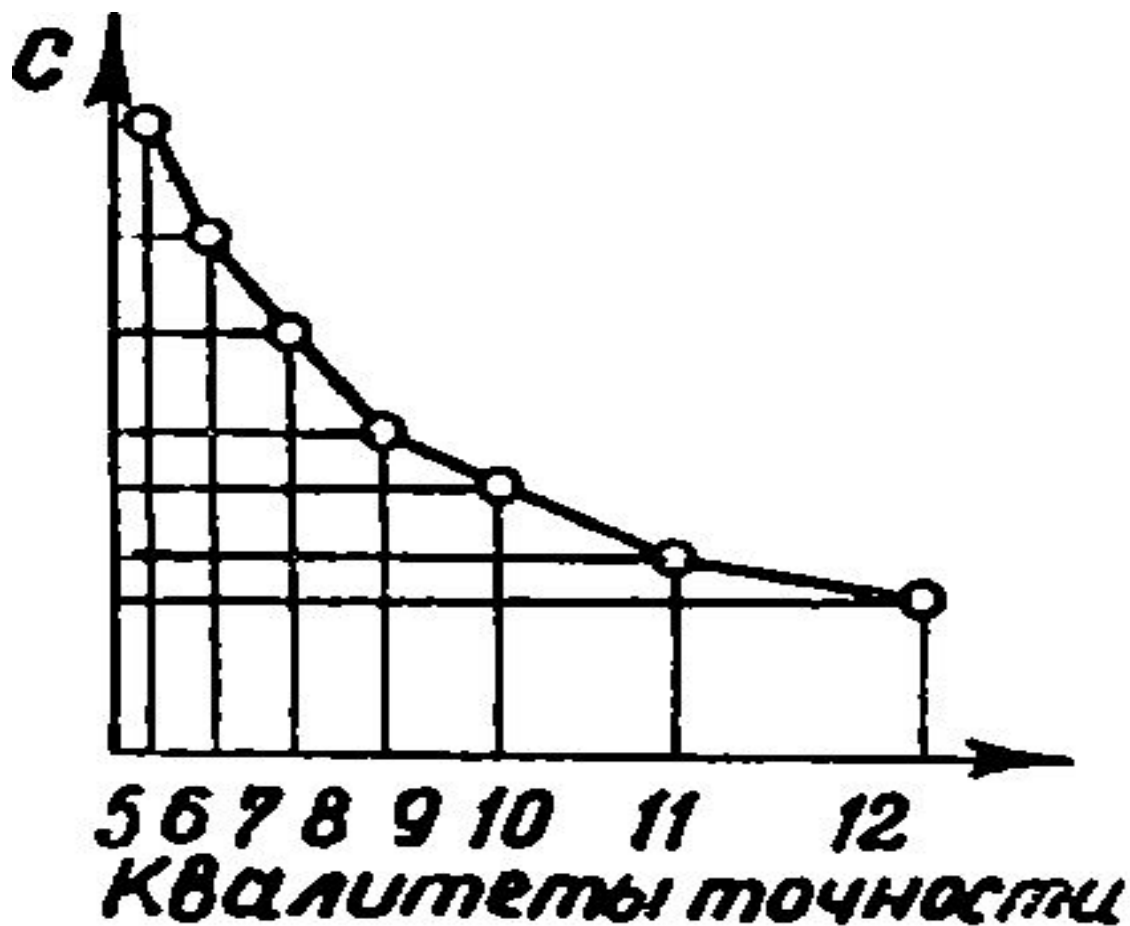
Точность и стоимость изделий



Класс точности ШП



Влияние точности на себестоимость (С) изготовления детали



Хрустальная карета маркизы Помпадур (XVIII век)

О рациональном обеспечении
массовых потребностей



Достижение В-ти на осн. стандартизации

Стандартизация - это деятельность, направленная на достижение оптимальной степени упорядочения в определённой области посредством установления положений для всеобщего и многократного применения в отношении реально существующих или потенциальных задач

Стандартизация решает проблемы *упорядочения и сокращения* многообразия типоразмеров объектов техники

Станд-е элементы и узлы - взаимозам-мы

Точность и надежность

Надежностью называют свойство системы сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в соответствии с заданными целями и условиями применения (из ГОСТ Р 27.015-2019)

Безотказность

Долговечность

Ремонтопригодность

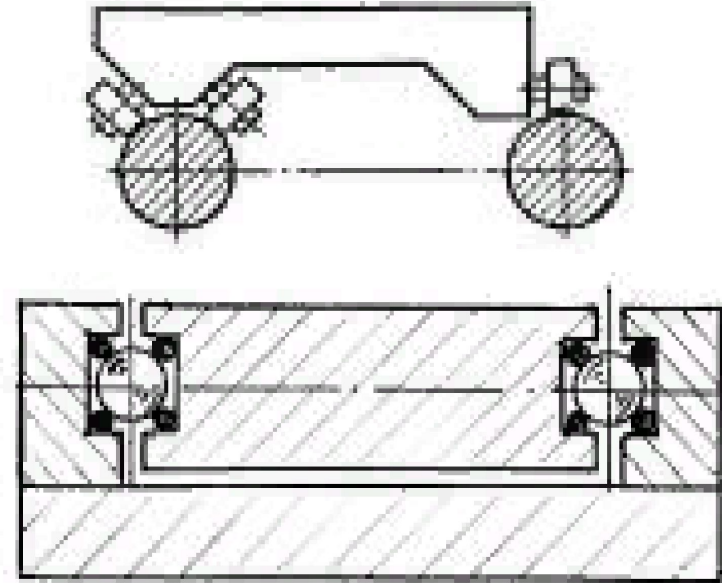
Сохраняемость

Живучесть

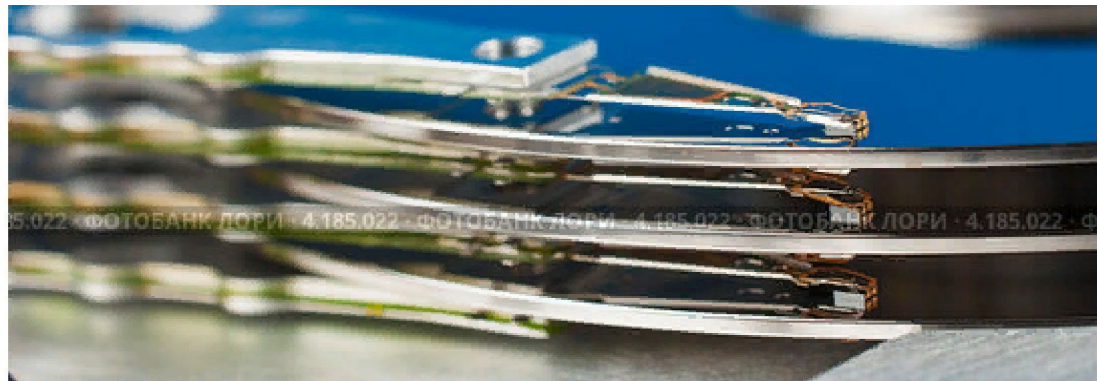
Достоверность информации

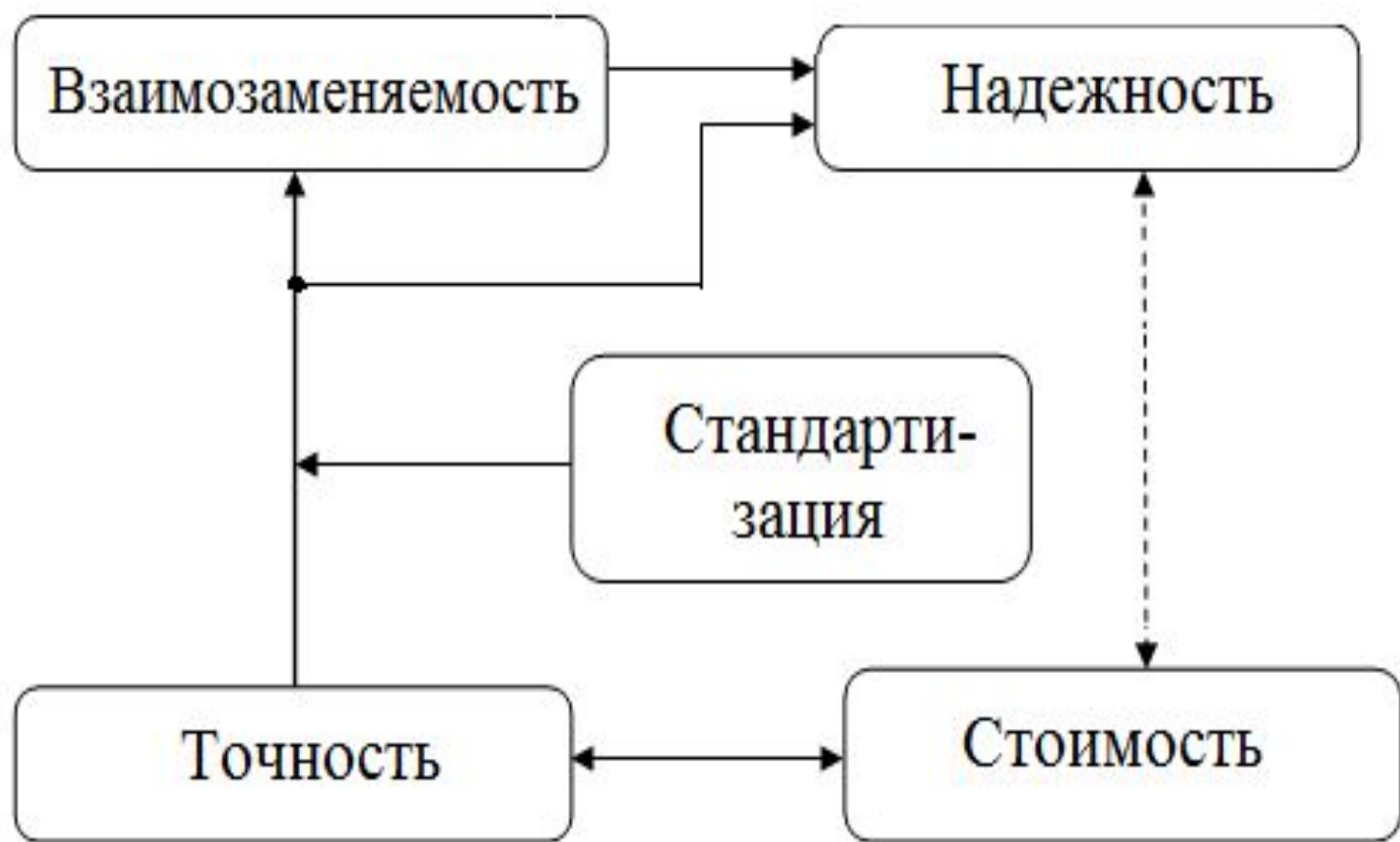
Точность и надежность

Пример 1. Отклонения от прямолинейности и от плоскостности, волнистость на рабочей поверхности направляющей планки приводят к возникновению чрезмерно больших давлений и снижению долговечности узла.

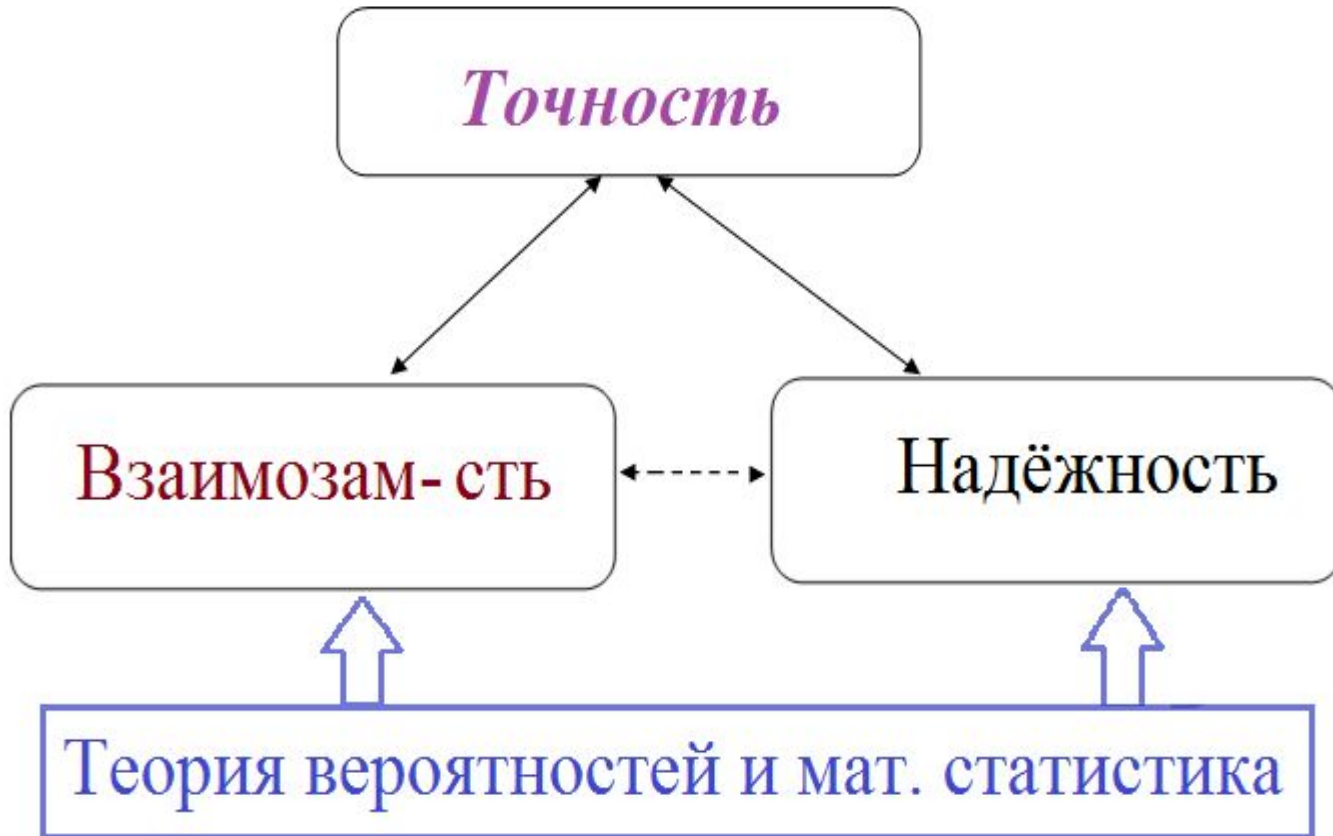


*Пример 1
Плавающие
головки НМД.*





Связь частей дисциплины **В и Н**



Из истории систем допусков и посадок

1922 г.: в Германии разработали госуд. систему допусков и посадок, вошедшую в систему стандартов DIN

1929 г.: утверждена общесоюзная система допусков и посадок ОСТ

1935 г.: создание **ЕСДП ИСА (ISA)**

1946 г.: создана **ISO (International Organization for Standardization)**

Из истории СДиП (*оконч.*)

1980 г.: в СССР осуществлен переход на ЕСДП СЭВ, разработанную на основе СДиП ИСО (ISO)

До 2013 г в СССР, а затем- в РФ действовал ГОСТ Р 25346-89

Вместо него ныне принят ГОСТ 25346-2013 (ISO 286-1:2010)

Пример стандартизации и взаимозаменяемости

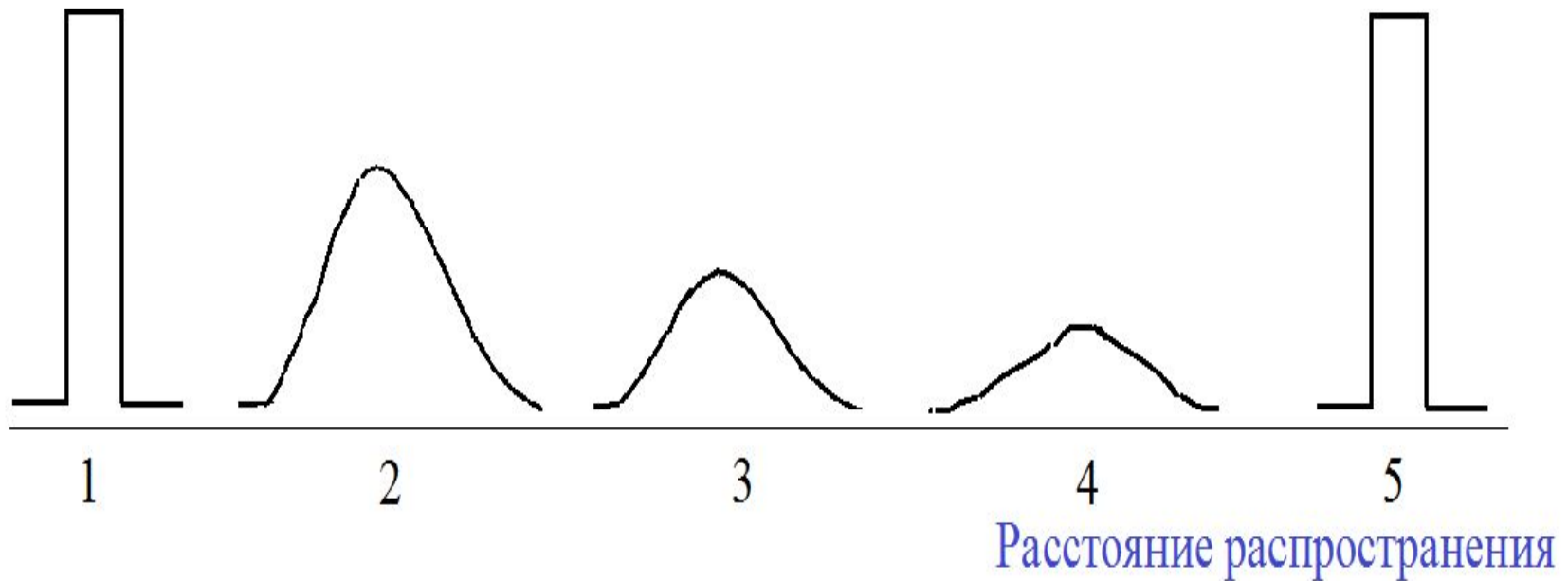


Пчелы соблюдают стандарт,
который разработала природа



У рамок разных ульев – одинаковые
конструкция и размеры

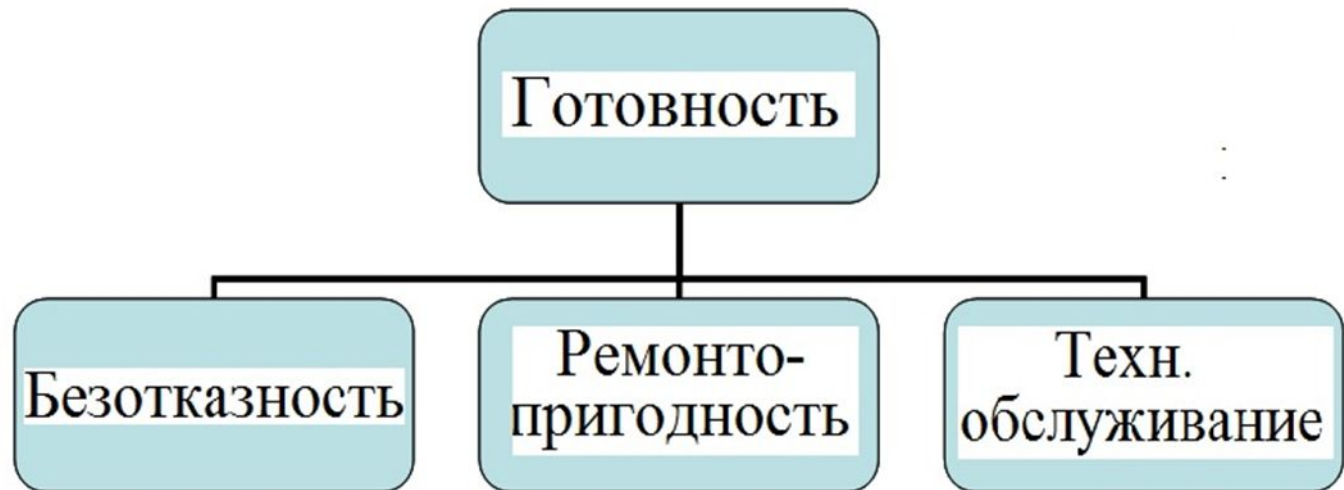
Надежность цифровой передачи



Искажение и восстановление импульсов, передав.
по каналу связи

Надежность (*Dependability*) :

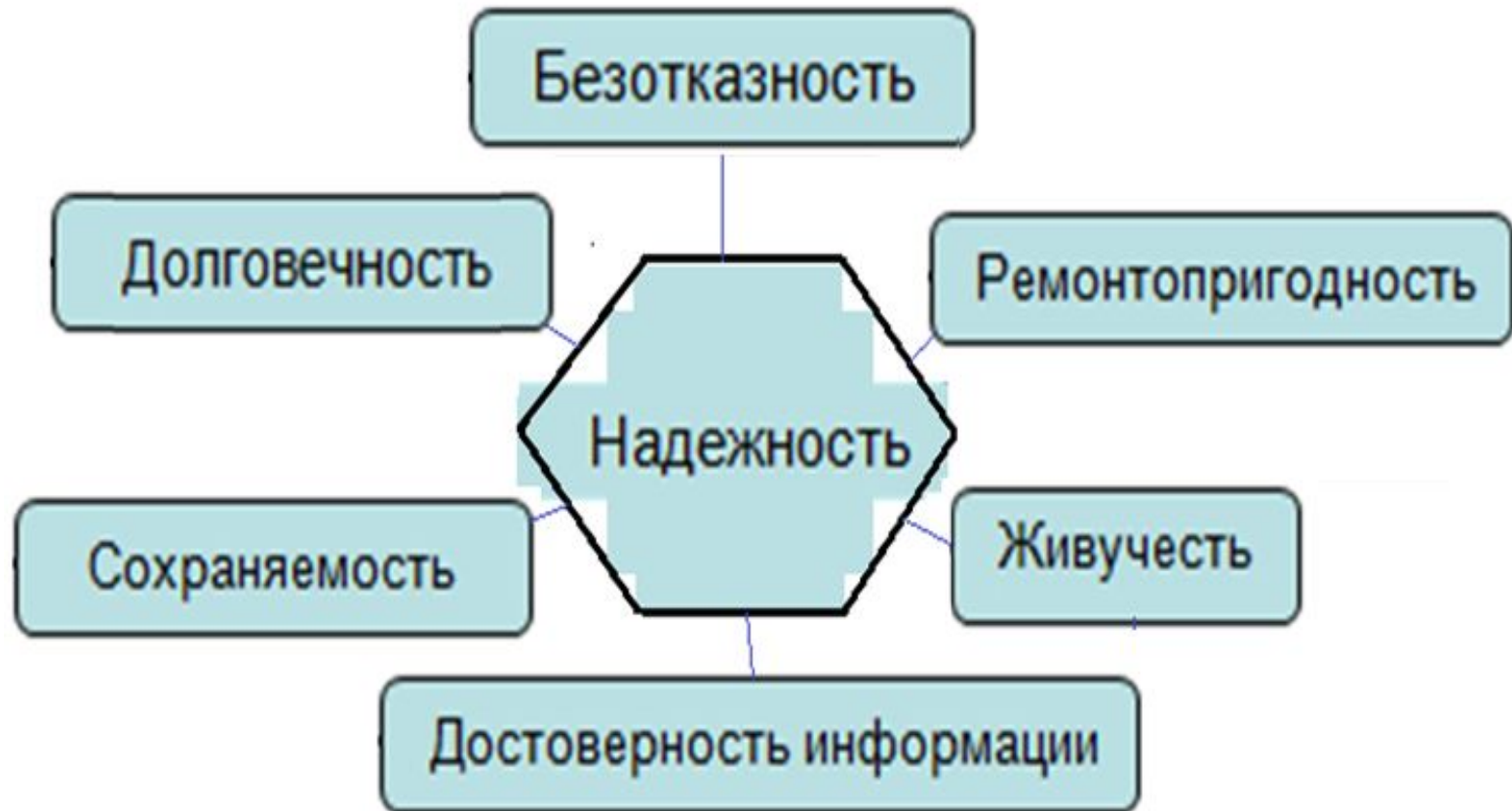
СВОЙСТВО *готовности* и влияющие на него свойства *безотказности*, *ремонтпригодности*, и поддержка *технического обслуживания* (по **ГОСТ Р 53480-2009**).



Из ГОСТ Р 27.102-2021
Надежность в технике

Надежность - свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции в заданных режимах, условиях применения, стратегиях технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Надежность



Безотказность (по **ГОСТ Р 53480-2009**).

– **Reliability** –

способность изделия выполнить требуемую функцию в заданном интервале времени при данных условиях.

**Безот-
каз
ность**

**Ремонто-
пригод-
ность**

**Долго-
веч-
ность**

**Со-
храня-
емость**

НАДЕЖНОСТЬ

Безотказность

(ГОСТ 27.002-2015)

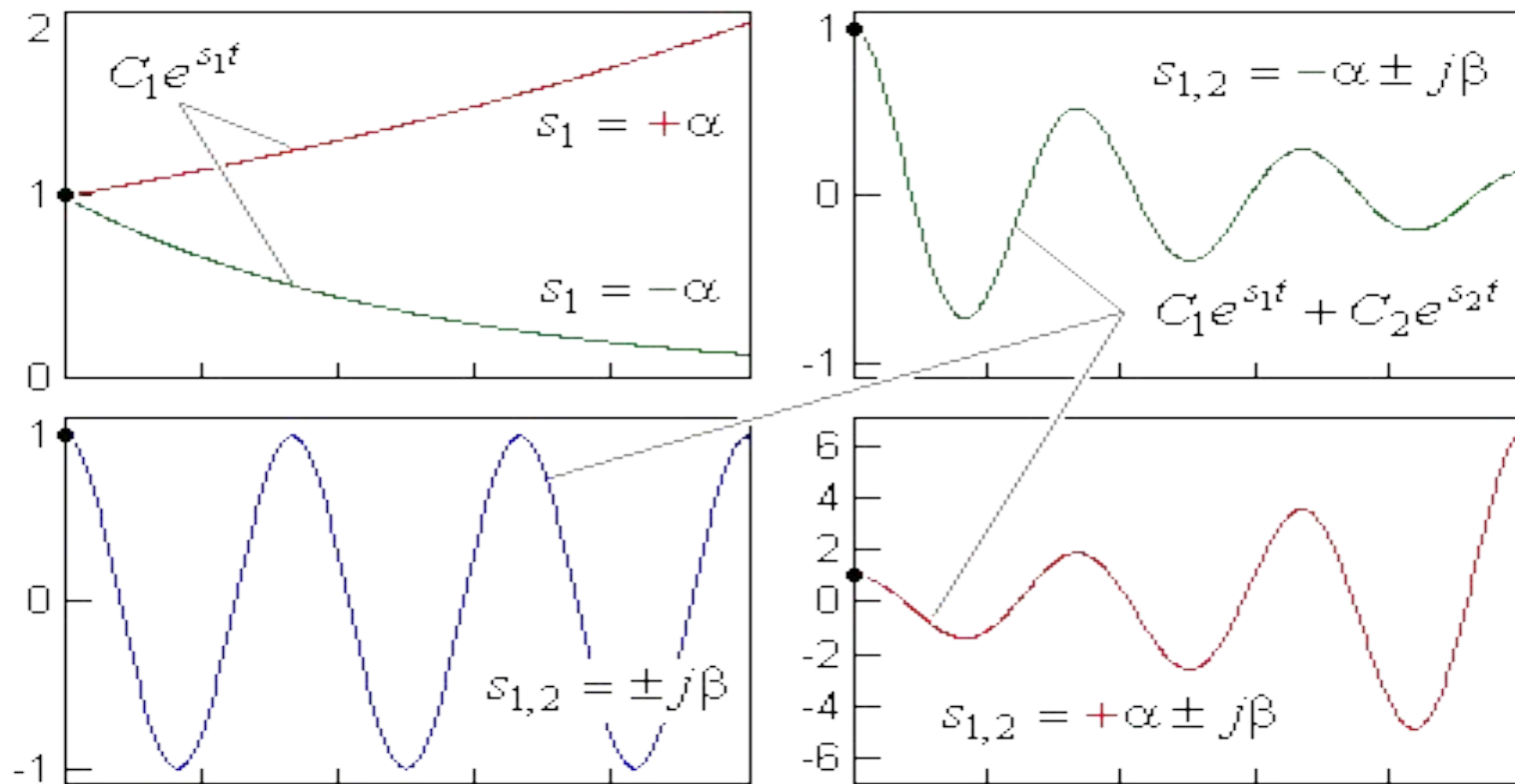
Свойство объекта (изделия) непрерывно сохранять способность выполнять требуемые функции в течение некоторого времени или наработки в заданных режимах и условиях применения

Ремонтопригодность — свойство объекта техники, характеризующее его приспособленность к восстановлению работоспособного состояния после отказа или повреждения.

Ремонт может включать **замену** изношенных или поврежденных деталей объекта.

Долговечность – свойство объекта (изделия) длительно сохранять работоспособность до наступления *предельного состояния* с необходимыми перерывами для технического обслуживания.

Надежность и устойчивость



История техники – борьба за надежность

Первые работы по теории Н появились в 20–е – 30-е гг XX в. применительно к **Н механических систем.**

В механике впервые попробовали применять теоретико-вероятн. методы расчета запаса прочности объектов.

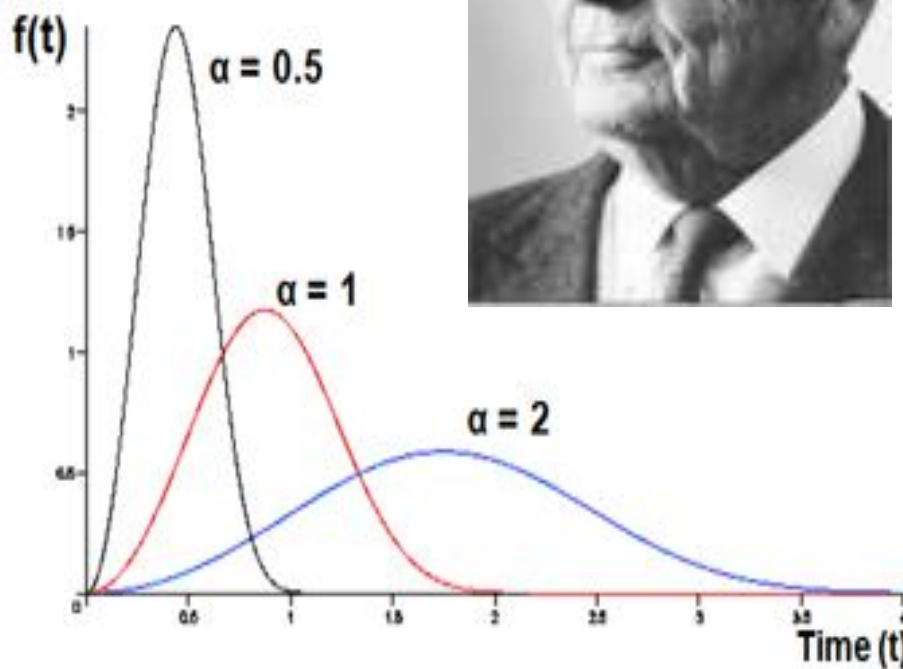


Катастрофа моста на р. Такома (США), 1940 г.

Борьба с **флаттером** в авиастроении

Зарождение науки о надежности электронных средств

В середине 1930-х, благодаря работам шведского ученого [В. Вейбулла](#), получила известность задача описания среднего времени наработки электронной лампы до её выхода из строя ([распределение Вейбулла](#)).



В 1934 г. в СССР по инициативе ак. Чаплыгина при АН СССР была создана комиссия по изучению надежности и долговечности машин.



$$L = (C / P)^3,$$

где P – эквивалентная динамическая нагрузка,
 L – долговечность, млн.об., C – динамическая грузоподъемность.

Теория надежности — наука

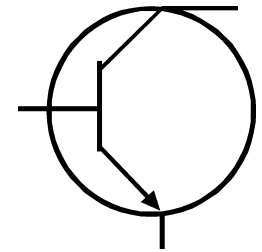
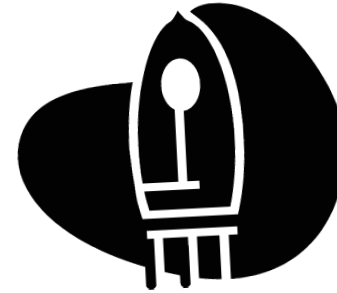
- изучает закономерности распределения отказов технических устройств, причины и модели их возникновения;
- устанавливает и изучает количеств. показатели надежности;
- разрабатывает методы количественной оценки надежности;
- разрабатывает методы повышения надежности.

Средняя наработка T_1 до отказа

- Электронные лампы

50-е гг XX в,

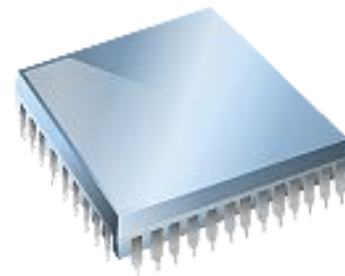
$$T_1 \approx 10^3 \div 10^4 \text{ ч}$$



- Интегральные схемы

90-е гг XX в,

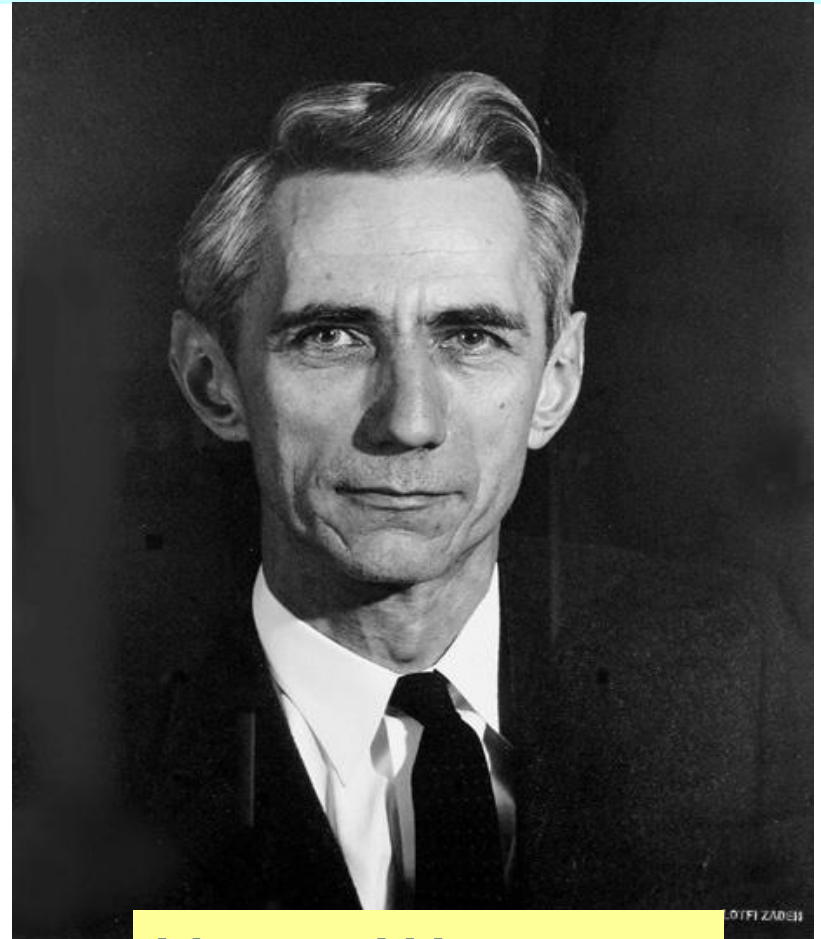
$$T_1 \approx 10^8 \div 10^{10} \text{ ч}$$



Развитие методов теории надежности в середине XX в за рубежом



Дж. Нейман



Клод Шеннон

Развитие науки о надежности систем автоматики и радиоэлектроники в СССР



А.И.Берг



В.И.Сифоров

*«Теория надежности создает основы
расчета надежности и предсказания
отказов, ищет способы
повышения надежности (при
конструировании и изготовлении), а
также способы сохранения
надежности при эксплуатации»*

А.И.Берг

Основополагающая в области резервирования работа:

Сифоров В. И. О методах расчета надежности систем, содержащих большое число элементов. Изв. АН СССР, Отд. техн. н., 1954, № 6, с. 3—12

Кто стоял у истоков отечественной теории надежности



Слева — И.А. Ушаков,
справа — Б.В. Гнеденко

В 1958 г. в Москве состоялась *Первая всесоюзная конференция по надежности*, организованная Научно-техн. обществом радиотехники, электроники и связи. Одним из организаторов этой конференции был выдающийся организатор промышленности — Я.М. Сорин

- **Период бурного развития теории Н пришелся на 60-е гг прошлого столетия.**

При оценке Н стали учитывать влияние внешних эксплуатационных факторов (климатических и механических воздействий, электромагнитных полей), а также факторов внутренних, связанных с выбором режимов работы элементов. Серьезное развитие получили методы испытаний на надежность.

Практическое воплощение результатов исследований в области Н при подготовке КА по программе “Аполлон”. При испытаниях были выявлены многочисленные дефекты, которые привели бы к отказам и неудаче с вероятностью, близкой к 100 %.

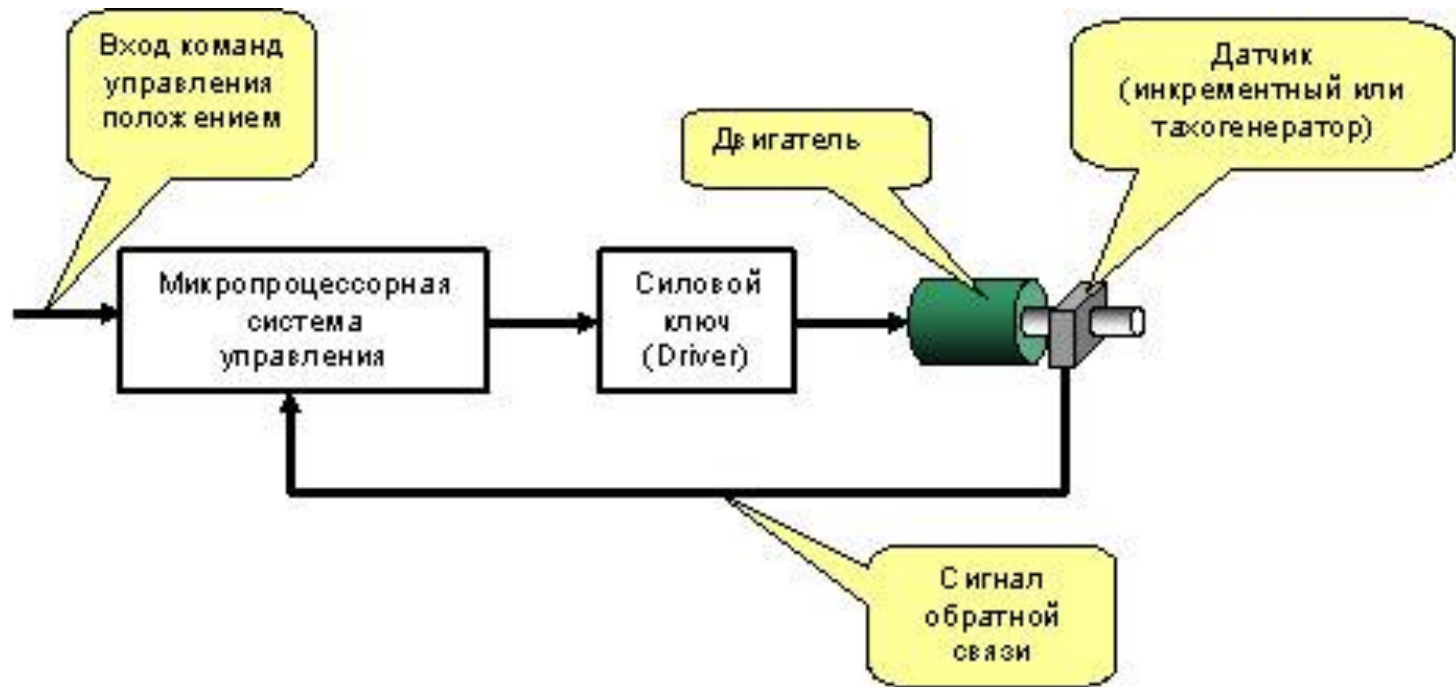
80-е гг XX в.: изучение Н сложных систем

Оценка функциональной надежности сети по вероятности установления (неустановления) соединения на сети при поступлении соответствующего требования.

Процесс же установления соединения зависит от принятой системы назначения маршрутов и распределения потоков информации.



Использование терминов «элемент» и «система»



В зависимости от уровня решаемой задачи определенный объект может в одном случае называться системой, а в другом – элементом.

Особенности сложных систем

- Простая система может находиться в двух состояниях: **работоспособн.** или **отказа.**
- Простая система при отказе резервир. элемента прекращает функ-ние.
- Сложная система при отказе отдельных элементов и даже целых подсистем может не терять работоспособность; снижаются только характеристики эффективности

Виды надежности

- Аппаратурная (надежность аппаратных средств)
- Программная (надежность ПО)
- Функциональная, оцениваемая по возможностям выполнения системой (устройством) своих функций

Теория надежности (Н) — наука

- устанавливает и изучает количеств. показатели, критерии и характ-ки Н;
- методы прогнозирования и оценки Н;
- методы повышения Н;
- изучает закономерности распределения отказов технических устройств, причины и модели их возникновения,
- методы испытаний объектов на Н;
- методы моделирования Н сложных систем

Принципы надежности, связанные с взаимозаменяемостью

- **избыточности** — обусловлен наличием большего, чем требуется для реализации функций числа элементов;
- **взаимозаменяемости и замещения функций**;
- **резервирования** — обеспечивается наличием в системе элементов, способных переходить из состояния покоя к деятельности;
- принцип **дублирования**.

Надёжность - один из аспектов *качества*, представляющий качество во времени.

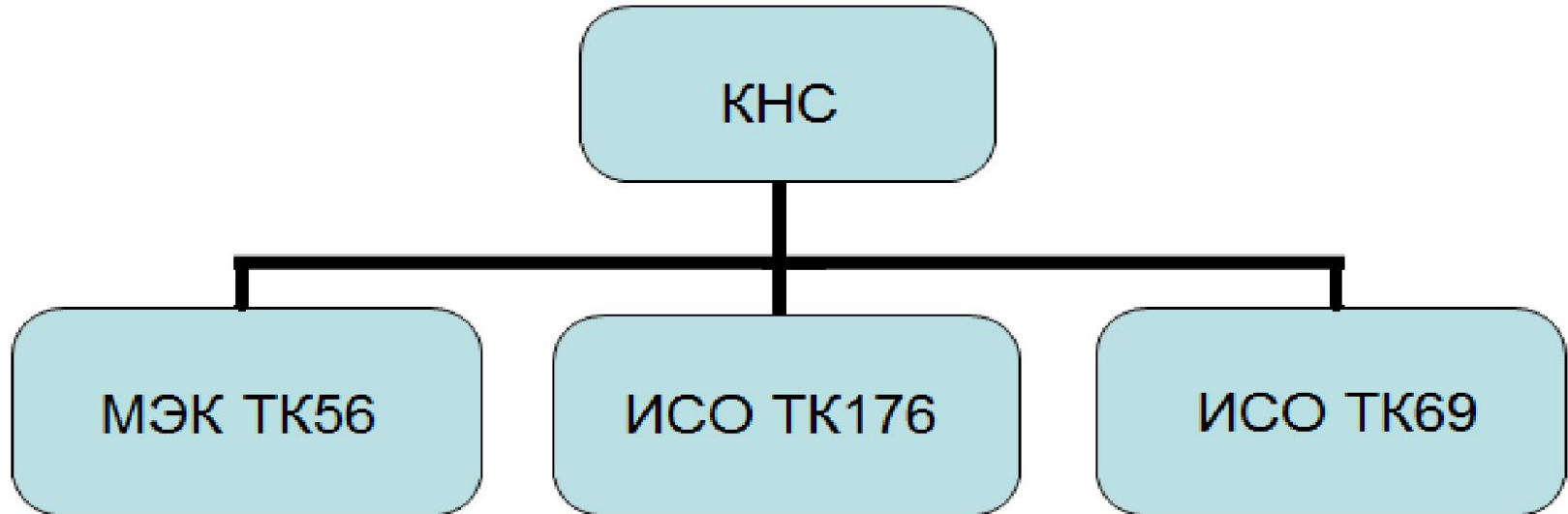
Надёжность закладывается при проектировании, реализуется в производстве и поддерживается при эксплуатации изделий.

Чтобы система была надёжной, необходимо провести в определенной последовательности **комплекс мероприятий** на всех этапах ее разработки, изготовления и эксплуатации, с учетом специфики конкретной системы.

Главную ответственность за надёжность изделия несёт **конструктор**

Стандартизация в области надежности

- 1965 г.: при МЭК (IEC) создан ТК “Безопасность и ремонтпригодность”
- 1990 г. организована объедин. группа “Качество-надежность-статистика”(КНС)



Гр «Качество, надёжность, статистика» координирует совместную деятельность комитетов:

- **ТК 56 «Надёжность»**
- **ТК 176 «Стандартизация систем менеджмента качества»**
- **ТК 69 «Применение статистических методов»**

**ГОСТ Р ИСО 9000-2015 «СИСТЕМЫ
МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА»**

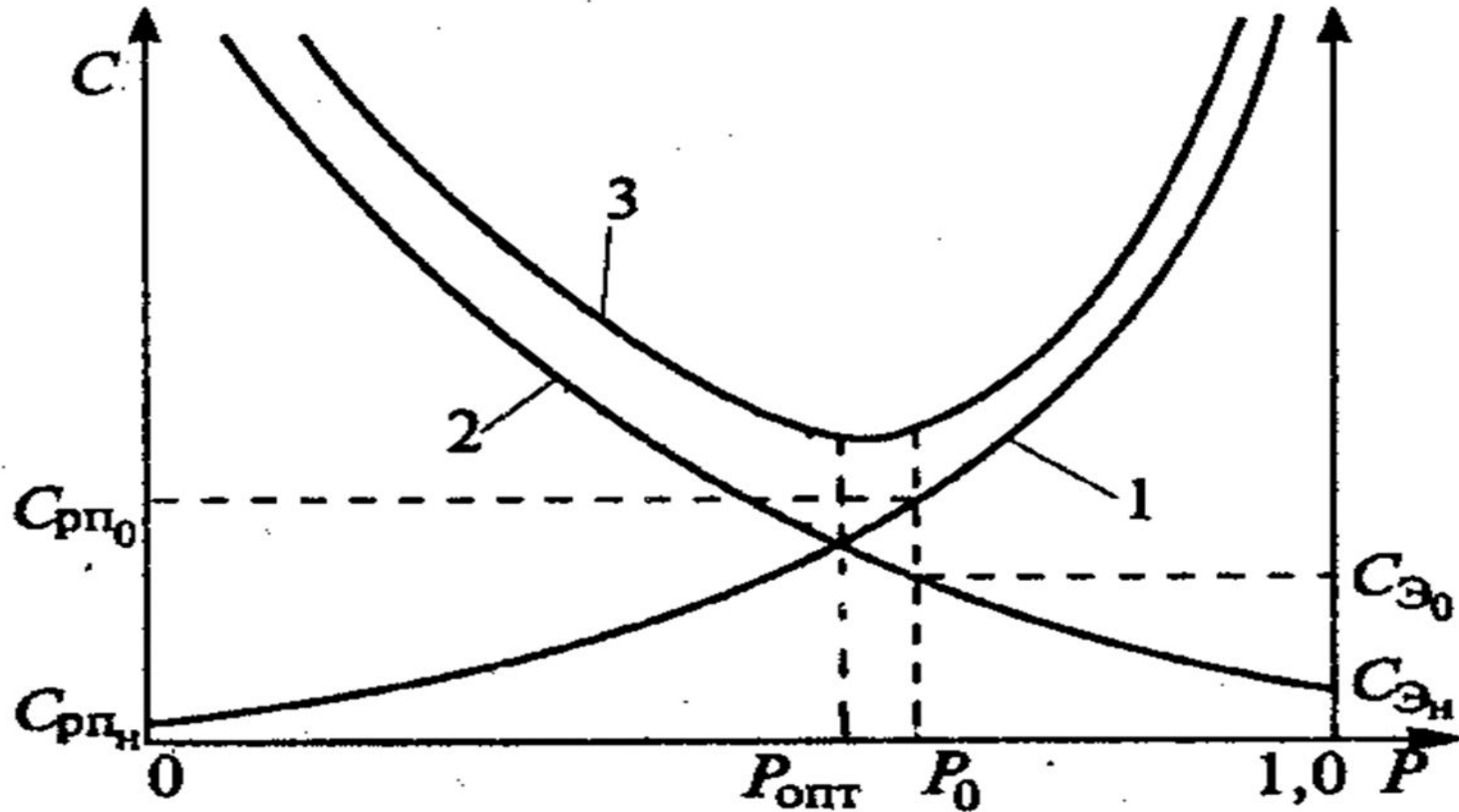
Надежность и риск

Оценка риска – определение вероятности возникновения отказа с недопустимо опасными последствиями

**Риск(R) -
количественная
характеристика
опасности**



Управление надежностью



1 – стоимость разработки и производства; Р – ВБР;
2 - стоимость тех обслуживания; 3 – полная стоимость



Математическая статистика – раздел математики, посвященный основанным на теории вероятностей математическим методам, позволяющим организовать сбор, обработку и интерпретацию статистических данных.

Содержание лекций

1. Основы взаимозаменяемости

Виды взаимозаменяемости.

Взаимозаменяемость по геометрическим параметрам. Номинальный, действительный и предельный размеры. Допуск, поле допуска. Единая система допусков и посадок. Размерные цепи и их расчет.

Неполная взаимозаменяемость: ее целесообразность и методы осуществления. Вероятностный расчет посадок и размерных цепей.

Взаимозаменяемость изделий и сборочных единиц по негеометрическим параметрам.

Функциональная взаимозаменяемость.

Содержание лекций

2. Надежность ЭВС (РЭС)

Основные характеристики надежности элементов и систем.

Законы распределения случайных величин, применяемые в теории надежности. Поток отказов и восстановлений. Модели случайных процессов.

Основы расчетов надежности ЭВС и РЭС.

Методы повышения надежности.

Испытания электронных средств на надежность.

Оценка надежности компьютерных систем с учетом надежности программ.

Оценка функциональной надежности сложных систем.

ч. I Взаимозаменяемость

В-ть – принцип обеспечения заданных показателей однотипных изделий установлением допустимых отклонений на их параметры.

По отношению к любой физической величине (ФВ) применяется понятие **«размер»**.

Размер – это количественная определенность ФВ, присущая конкретному объекту.

Размер инвариантен к выбору единиц измерения:

$$1 \text{ см} = 0,3937''$$

$$14 \text{ унций} = 396,9 \text{ г}$$

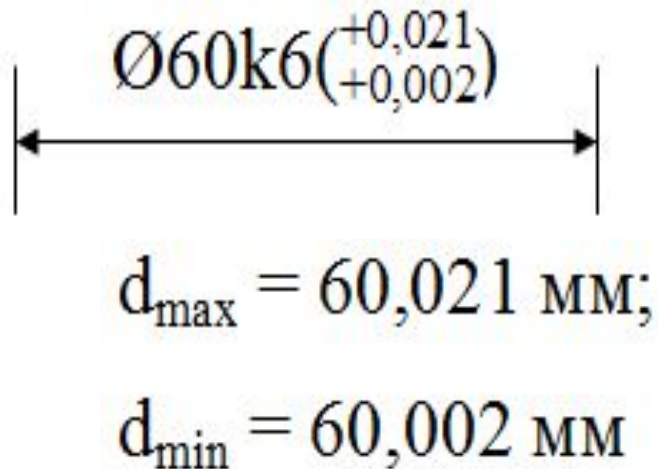
1.1 Номинальный, действительный и предельный размеры. Допуск и интервал (поле) допуска

Измерения линейных размеров составляют в машиностроении и приборостроении от 80 до 90% всех технических измерений, проводимых в этих отраслях.

Геометрические размеры неоднозначнее и труднее определяемы, нежели размеры практически любых других ФВ

ГОСТ 25346-2013. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Основные положения, допуски, отклонения и посадки.

Номинальный размер (явл. каким-либо только по названию)



Годная деталь:

$$d_{\min} \leq d_{\text{д}} \leq d_{\max}$$

Размер $d_{\text{д}} = 60,000 \text{ мм}$
относится к **браку**

Номинальный размер опред. из расчетов или выбирается из конструктивных соображений и округляется до ближайшего большего из ряда нормальных линейных размеров

Основные ряды нормальных линейных размеров

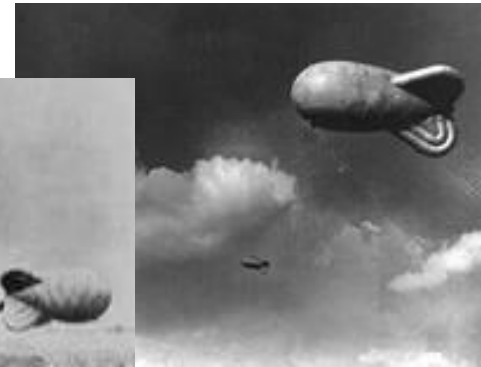
Ra 5: 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,63; 1; 1,6; 2,5; 4; 6,3; 10 16; 25 ...

Ra 10: 0,1; 0,12; 0,16; 0,2; 0,25; 0,32; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1; 1,2; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12; 16; 20; 25...

Ra 20: 0,1; 0,11; 0,12; 0,14; 0,16; 0,18; 0,2; 0,22; 0,25; 0,28; 0,32; 0,36; 0,4; 0,45; 0,5; 0,56; 0,63; 0,71; 0,8; 0,9; 1 и т. д. с повышением цифр на один порядок.

Ra 40: 0,1; 0,105; 0,11; 0,115; 0,12; 0,13; 0,14; 0,15; 0,16; 0,17; 0,18; 0,19; 0,2; 0,21; 0,22; 0,24; 0,25 и т. д.

Ренар Ш. (1847 -1905 гг.)



Ренар обнаружил чрезмерное количество конструкций швартовочных тросов и в 1877 году предложил математически обоснованный способ стандартизации их типоразмеров.

Золотое сечение

$$x_{1,2} = \frac{1 \pm \sqrt{5}}{2}$$



Ряды предпочтительных чисел

R5: 1 — 1,6 — 2,5 — 4 — 6,3;

$$q = \sqrt[5]{10} \cong 1,6;$$

R10: 1 — 1,25 — 1,6 — 2 — 2,5 — 3,15 — 4 — 5 — 6,3 — 8;

$$q = \sqrt[10]{10} \cong 1,26$$

R20: 1 — 1,12 — 1,25 — 1,4 — 1,6 — 1,8 — 2 — 2,24 —
2,5 — 2,8 — 3,15 — 3,55 — 4 — 4,5 — 5 — 5,6
— 6,3 — 7,1 — 8 — 9;

$$q = \sqrt[20]{10} \cong 1,12$$

R40: R20 и 1,06 — 1,18 — 1,3 — 1,5 — 1,7 — 1,9 — 2,1 —
2,4 — 2,6 — 3 — 3,35 — 3,76 — 4,2 — 4,7 — 5,3 — 5,6 — 6
— 6,7 — 7,5 — 8,4.

$$q \cong 1,06$$

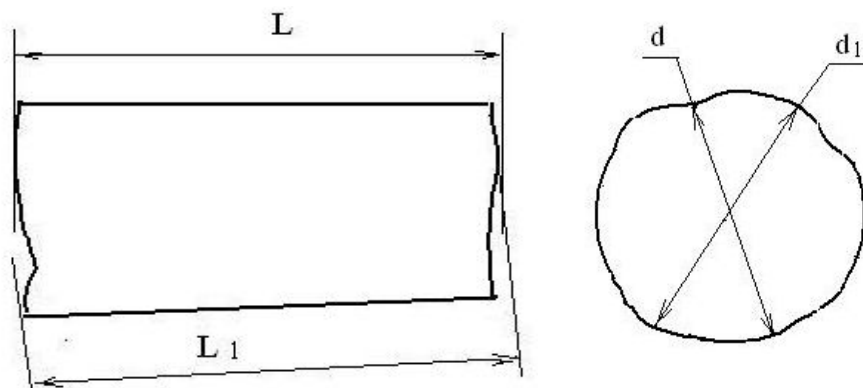
Действительный размер (actual size):
размер присоединенного полного
элемента.

Размерный элемент (feature of size):
геометрическая форма, определяемая
линейным или угловым размером.

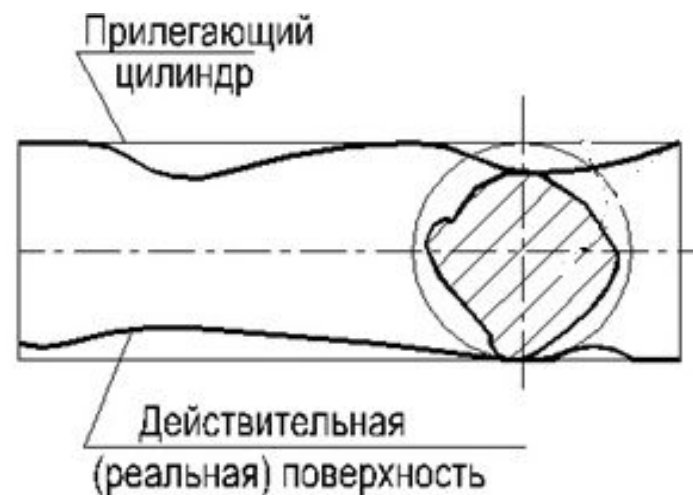
Это м.б. цилиндр, сфера, две параллельные
противолежащие плоскости

Отверстие - внутренний размерный элемент
детали

Вал - наружный размерный элемент детали



Действительный размер устанавливается измерением с допускаемой погрешностью.

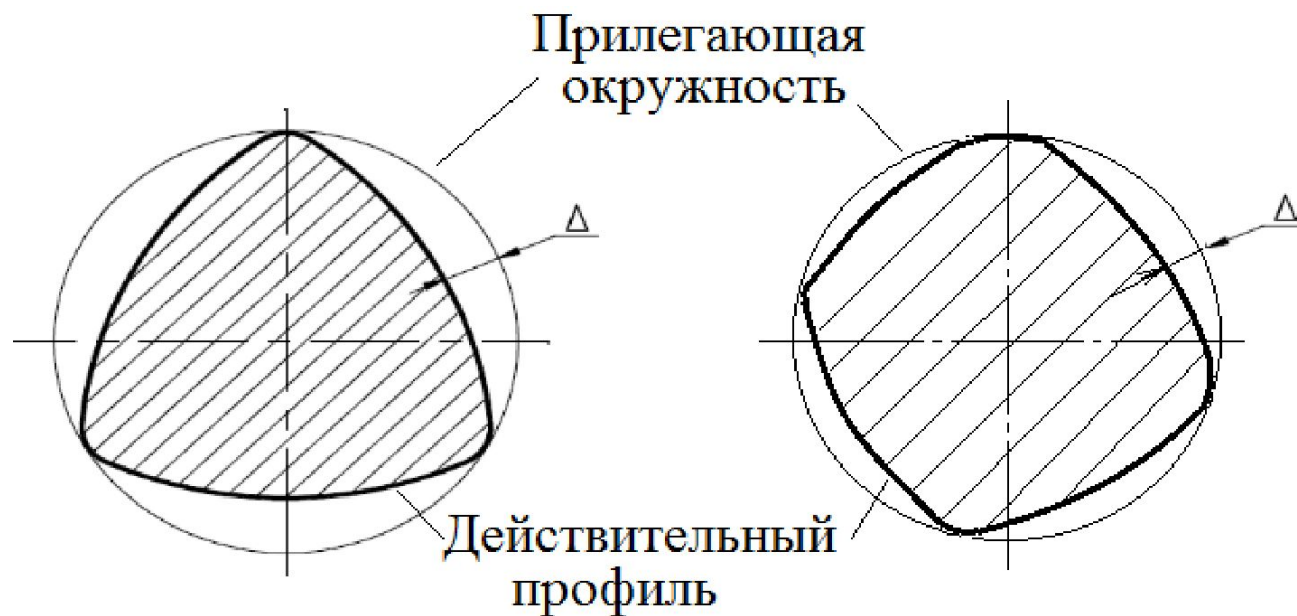


Действительным размером отверстия или вала считается размер сопрягаемой детали идеальной геометрич. формы, прилегающей к рассм. детали без зазора

НЕОПРЕДЕЛЁННОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ ДВУХТОЧЕЧНЫМ МЕТОДОМ

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32233808>

Наибольшее влияние на неопределённость двухточечных измерений линейных размеров оказывают отклонения формы типа огранка и изогнутость элементов.



Огранка нечетная и четная

Из ГОСТ 25346-2013

Номинальный размер (*nominal size*):
размер геометрического элемента идеальной
формы, определенной чертежом

Действительный p-p (*actual size*): размер
присоединенного полного элемента

Каждый размерный геометрический элемент,
ограниченный реальной поверхностью, имеет два
функциональных размера при эксплуатации детали
в изделии – размер максимума материала и размер
минимума материала.

Толкование понятия «Предельные размеры» на предписанной длине

Для отверстий

Диаметр наибольшего правильного воображаемого цилиндра, который может быть вписан в отверстие так, чтобы плотно контактировать с наиболее выступающими точками поверхности, не должен быть меньше диаметра, соответствующего максимальному количеству материала детали (прох. пределу). Наибольший же действительный размер отверстия в любой точке не должен превышать непроходного предела размера.

Толкование понятия «Предельные размеры» на предписанной длине

Для валов:

Диаметр наименьшего правильного воображаемого цилиндра, который может быть описан вокруг вала так, чтобы плотно контактировать с наиболее выступ. точками поверхности (размер сопрягаемой детали идеальной геометрической формы, прилегающей к валу без зазора), не должен быть больше, чем предел максимума материала вала. Минимальный диаметр в любом месте вала не должен быть меньше, чем непроходной предел размера.

Согласно ГОСТ Р 53090-2008 (ИСО 2692:2006) выявленные местные размеры нормируемого элемента должны быть:

1) не больше размера максимума материала для наружных элементов (валов);

2) не меньше размера максимума материала для внутренних элементов (отверстий)

Допуск (Tolerance) – мера точности

$$T_D = D_{\max} - D_{\min}$$

$$T_D = ES - EI.$$

Допуском размера называется разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или разность между верхним и нижним отклонениями.

Допуск обозначается IT (*International Tolerance*) или T_D - допуск отверстия и T_d - допуск вала.